

RESPOSTA ESPECTRAL DO MILHO E SUA RELAÇÃO COM ALTOS NÍVEIS DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

BERNARDO FRIEDRICH THEODOR RUDORFF¹
MAURICIO ALVES MOREIRA¹
MARCOS ADAMI¹
JOSÉ GUILHERME DE FREITAS²

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 122001-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{bernardo, mauricio, adami}@ltid.inpe.br

²Instituto Agronômico de Campinas
Caixa Postal 28 - 13001 - Campinas - SP, Brasil
jfreitas@cec.iac.br

Abstract: This study was carried out to verify the feasibility of using field spectral reflectance measurements to estimate corn crop yield growing under different row spacing (45 and 90 cm), plant population (60 and 80 thousands plants ha⁻¹) and doses of nitrogen (0, 60, 120 and 180 kg of N ha⁻¹). The field experiment was conducted at the Agronomic Institute in Campinas, São Paulo State, during the 2001/2002 crop year. Canopy reflectance measurements were transformed into the normalized difference vegetation index (NDVI) and related to final grain yield. No significant relationship between NDVI and grain yield was observed. Grain yield varied between 5 and 10 ton ha⁻¹ and it is suspected that at this high production level the NDVI values are saturated; although leaf area index values varied between 2 and 4.5 which seems to be below saturation values for NDVI. No significant differences were observed for treatment effects on grain yield.

Keywords: spectral reflectance, remote sensing, corn.

1. Introdução

A espectrorradiometria de campo é uma técnica de sensoriamento remoto, ao nível de campo, frequentemente utilizada na agricultura pois permite obter medidas, quase que diárias, ao longo do ciclo de crescimento e desenvolvimento das culturas sob condições bem mais favoráveis em termos de influência da atmosfera (Deering, 1989). Além disso permite obter medidas em pequenas unidades amostrais submetidas a diferentes tratamentos favorecendo o entendimento das relações da resposta espectral com parâmetros agronômicos (Henderson e Badhwar, 1984). Estas relações podem então ser implementadas em modelos de estimativa de crescimento e produtividade agrícola (Bauer, 1985) ou utilizadas de forma direta para estimar a produtividade (Rudorff e Batista, 1991).

O principal objetivo do presente trabalho consistiu na utilização de técnicas de sensoriamento remoto, através de espectrorradiometria de campo, para obter medidas do fator de reflectância da cultura do milho, nas regiões visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, a fim de avaliar o efeito do espaçamento entre linhas, da densidade populacional e da adubação nitrogenada em cobertura na resposta espectral do genótipo de milho AG-9010 e sua relação com o índice de área foliar e a produtividade de grãos.

2. Material e Métodos

A área de estudo localiza-se no Núcleo Experimental do Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, SP, onde foi instalado o experimento a campo com o genótipo de milho AG-9010, durante a safra de verão de 2001/2002. O delineamento estatístico do experimento foi de blocos ao acaso, num esquema de parcela sub-subdividida, com 4 repetições. Os tratamentos consistiram de dois espaçamentos (E) de 45 e 90 cm nas entre linhas; duas populações (P) de 60.000 e 80.000 plantas ha⁻¹ e quatro níveis de adubação nitrogenada em cobertura (0, 60, 120

e 180 kg ha⁻¹ de N) aplicados na forma de uréia. Na colheita foram colhidas 10 espigas por unidade experimental.

As medidas de espectrorradiometria de campo foram coletadas por ocasião do estágio de enchimento de grãos, ou seja, antes da maturação fisiológica das plantas quando elas se encontravam em pleno vigor de crescimento e desenvolvimento do grão. Foi utilizado o radiômetro portátil de campo Spectron SE-590 (Spectron Inc., EUA), fixado num mastro a cerca de 1 m sobre o dossel da cultura com um ângulo de visada de 15° que permitiu obter a radiância de uma círculo de 25 cm de diâmetro no topo da cultura (Moreira, et al., 1999). O radiômetro foi apontado em duas posições na linha e duas posições na entre linha de cada unidade amostral. Estas medidas foram transformadas em fator de reflectância seguindo a metodologia proposta por Steffen (1996). Posteriormente, os valores do fator de reflectância nas faixas espectrais correspondentes ao vermelho (630 a 690 nm; banda 3 do sensor TM do satélite Landsat) e ao infravermelho próximo (760 a 900 nm; banda 4 do sensor TM do satélite Landsat) foram utilizados para o cálculo do índice vegetação com diferença normalizada (NDVI; Tucker, 1979).

Concomitantemente foram obtidas medidas do índice de área foliar (IAF) que foi estimado por meio de um método não destrutivo, utilizando-se o *Plant Canopy Analyzer*, modelo LI-2000 (LI-COR Inc., EUA). O equipamento determina o IAF a partir de medidas da radiação solar, preferencialmente difusa, acima do dossel da cultura e abaixo da mesma no nível do solo. Cada uma destas medidas é registrada automática e simultaneamente em cinco diferentes de ângulos de incidência.

Os dados foram analisados utilizando-se procedimentos de análise de regressão e análise de variância adequados para um delineamento experimental em blocos com sub-sub-parcelas; diferenças entre tratamentos foram avaliadas através do teste estatístico de Duncan utilizando os pacotes de *software* estatístico SAS e *Analyse-it*.

3. Resultados e discussão

A análise de variância do índice de área foliar (IAF) e do NDVI (índice vegetativo com diferença normalizada) indicou haver diferença significativa entre os blocos, conforme apresentado nas **Figuras 1 e 2**. Isto prejudicou a observação de possíveis efeitos dos fatores espaçamento, população e nitrogênio sobre o IAF e o NDVI.

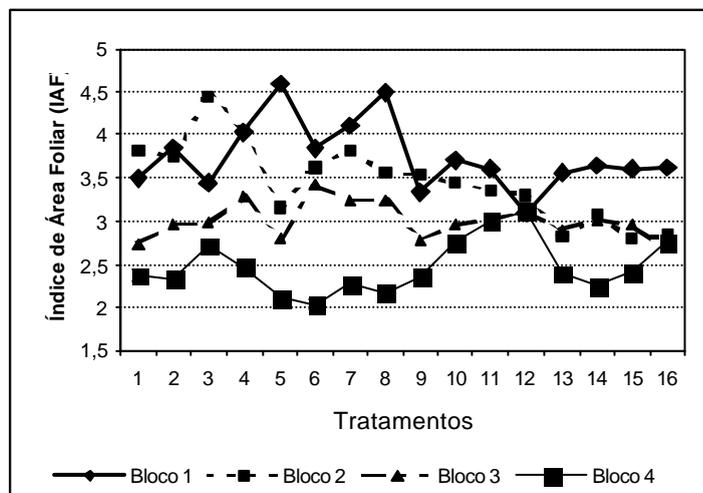


Figura 1 - Variação dos valores de índice de área foliar (IAF) por tratamento dentro dos blocos.

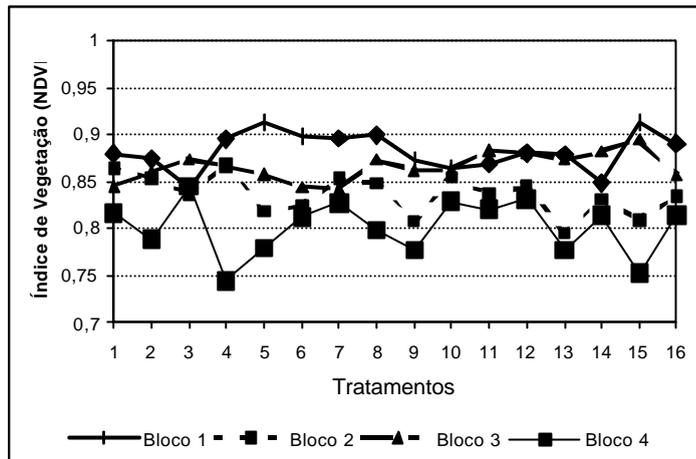


Figura 2 - Variação dos valores de NDVI por tratamento dentro dos blocos.

As **Figuras 3 e 4** apresentam os valores médios de IAF e NDVI, respectivamente, para os fatores espaçamento, população e nitrogênio. O elevado desvio padrão, decorrente da significativa variação entre blocos, mostra que não houve diferença entre os níveis dos diferentes fatores. Apenas pode se observar uma tendência no aumento do valor do NDVI em resposta aos tratamentos mais adensados (espaçamento=45 cm), mais populosos (população=80.000) e com maiores níveis de nitrogênio (**Figura 4**). Tendência semelhante pode ser observada para o IAF (**Figura 3**).

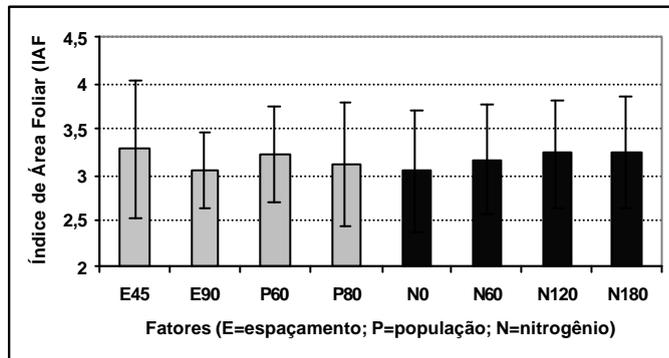


Figura 3 - Média e desvio padrão do índice de área foliar (IAF) para os fatores espaçamento (E), população (P) e nitrogênio (N).

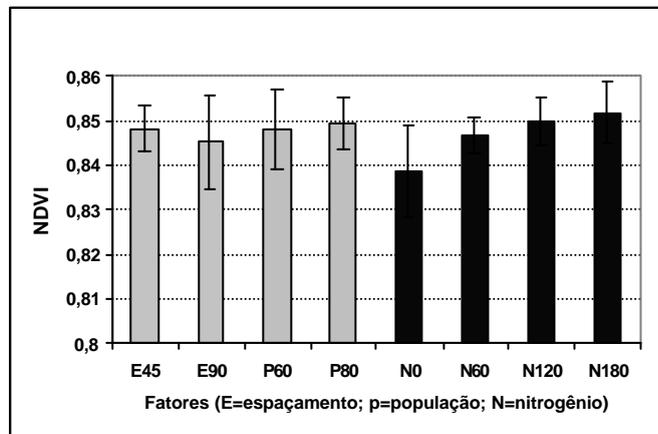


Figura 4 - Média e desvio padrão do NDVI para os fatores espaçamento (E), população (P) e nitrogênio (N).

A **Figura 5** mostra a relação entre o IAF e o NDVI, na qual se percebe que o NDVI explicou 49% da variação do IAF. Cabe salientar que as medidas de IAF são obtidas de forma não destrutiva através do LI-2000 conforme descrito no item anterior e que a área amostrada para estimar o IAF e o NDVI, dentro de cada parcela, não é necessariamente a mesma. Mesmo assim, se esperaria uma relação bem melhor entre NDVI e IAF conforme aponta a literatura (Asrar et al., 1984).

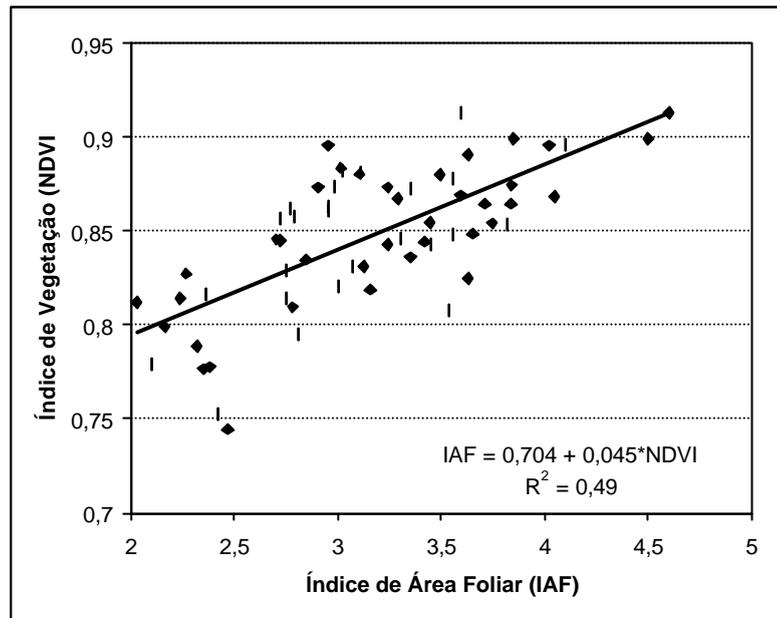


Figura 5 - Regressão do índice vegetativo (NDVI) com o índice de área foliar (IAF).

Na **Figura 6** é mostrado a relação entre o IAF e a produtividade de grãos. Nota-se que o IAF não teve uma relação direta com a produtividade. Teoricamente as parcelas com maior área foliar deveriam apresentar as maiores produtividades em função da maior capacidade para realizar fotossíntese. Todavia, outros fatores devem ter exercido influência significativa sobre a produtividade de grãos, como por exemplo, translocação de fotoassimilados para os grãos

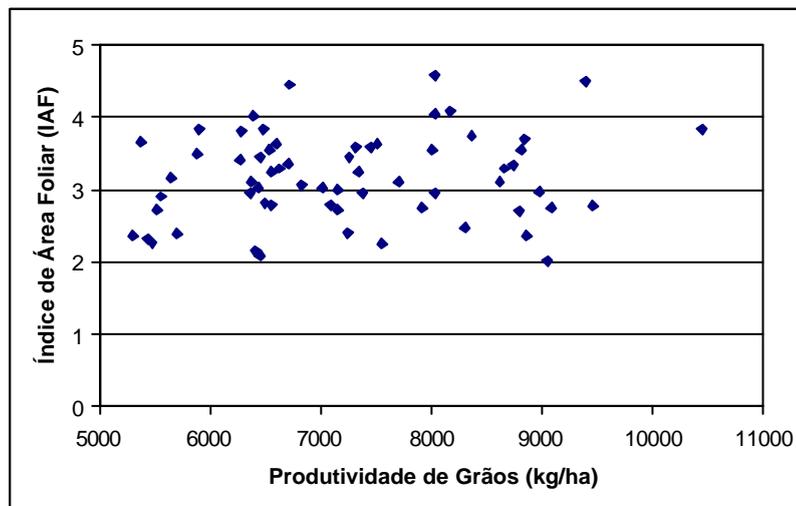


Figura 6 - Relação entre o índice de área foliar (IAF) e produtividade de grãos ($kg\ ha^{-1}$).

O resultado contido na **Figura 7** mostra que também não houve uma relação direta entre o NDVI e a produtividade de grãos. Os valores de NDVI variaram entre 0,8 e 0,9 enquanto que a produtividade variou aproximadamente de 5 a 10 ton. ha⁻¹. Este resultado mostra que não é possível estimar a produtividade a partir do NDVI quando a produtividade é muito alta (>5000 kg ha⁻¹). Nesta situação é provável que ocorreu uma saturação do NDVI em função do elevado IAF. Entretanto, isto deve ser visto com cuidado uma vez que os valores de IAF variaram de 2 a 4,5, ou seja, aquém da saturação do NDVI para milho conforme observado por Daughtry et al. (1992). Macedo e Rudorff (no prelo) observaram que o NDVI explicou 54% da variação na produtividade de grãos do milho safrinha em lavouras comerciais, onde os valores de NDVI variaram de 0,6 a 0,9 e a produtividade variou de cerca de 500 a 5000 kg ha⁻¹. Nesta situação observou-se que o NDVI teve boa relação com baixos níveis de produtividade e que em níveis mais altos (>5 ton ha⁻¹) esta relação não existe, pelo menos em condições de clima tropical, onde radiação não é fator limitante para atingir alta produtividade. Esta afirmação tem por base a alta relação existente entre o NDVI e a fração da radiação incidente absorvida pela cultura (Asrar et al., 1984 e Daughtry et al., 1992). Em outras palavras, observou-se que a diferença entre as parcelas amostrais em termos de radiação solar absorvida - expressa através do NDVI - não está relacionada com a produtividade de grãos, ou seja, a radiação não foi fator limitante.

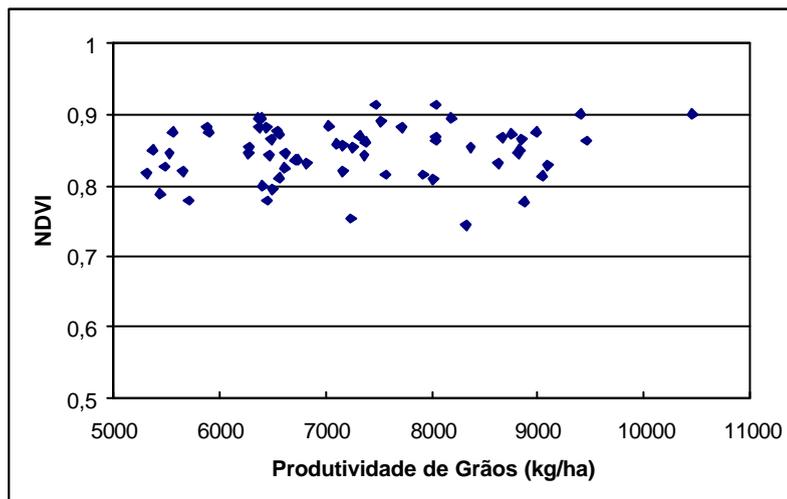


Figura 7 - Relação entre NDVI e produtividade de grãos (kg ha⁻¹).

A **Figura 8** apresenta a variação dos valores de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) entre os blocos. Novamente foi observada uma significativa variação entre blocos o que dificulta o aparecimento de efeitos significativos para os fatores analisados conforme ilustra a **Figura 9**.

Foi observada uma interação entre espaçamento e população ($p < 0,10$) indicando que a população de 60.000 plantas ha^{-1} é mais produtiva do que a população de 80.000 plantas ha^{-1} para o espaçamento de 90 cm entre linhas. Apesar da interação entre os três fatores ser significativa ($p < 0,05$) a análise de variância não mostrou claramente qual dos tratamentos é o mais indicado. Aparentemente os melhores resultados foram obtidos para o espaçamento de 45 cm com população de 80.000 plantas ha^{-1} ou para o espaçamento de 90 cm com população de 60.000 plantas ha^{-1} , independentemente da dose de nitrogênio.

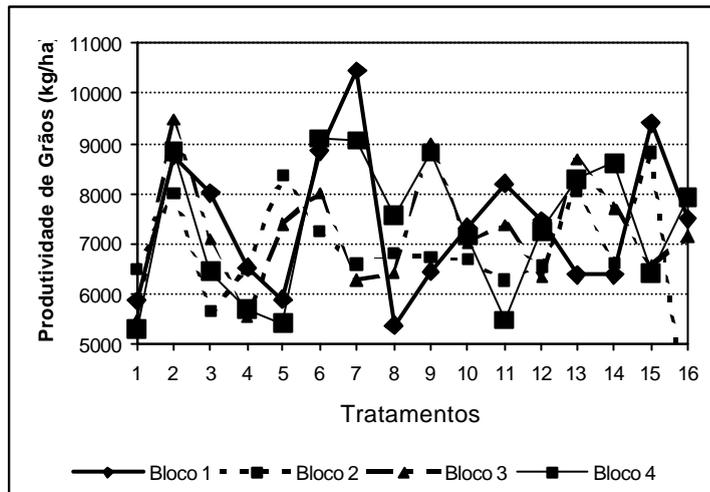


Figura 8 - Variação dos valores de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) por tratamento dentro dos blocos.

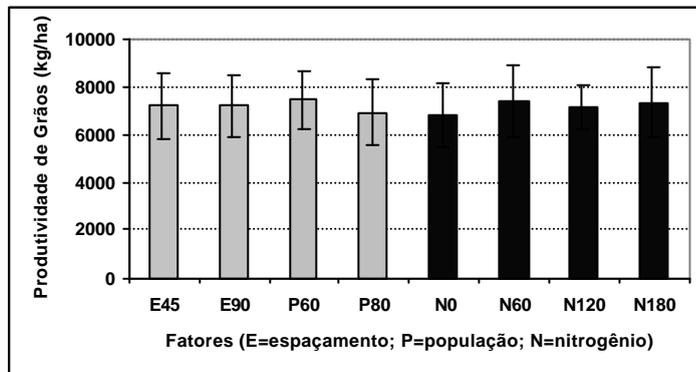


Figura 9 - Média e desvio padrão da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) para os fatores espaçamento (E), população (P) e nitrogênio (N).

4. Considerações finais

Os resultados mostraram que o NDVI se correlaciona com o índice de área foliar (IAF) porém nenhum deles se correlacionou com a produtividade de grãos, o que em parte pode ser atribuído ao alto nível de produtividade obtida, entre 5 e 10 ton ha⁻¹. A variação significativa entre blocos para o NDVI, IAF e produtividade de grãos prejudicou o aparecimento de efeitos significativos para os fatores espaçamento, população e adubação nitrogenada e suas interações. Pode ser que um dos motivos dessa variação entre blocos, foi devido à variabilidade na relação ferro e manganês. Sabe-se que o teor do ferro é muito alto nesse solo o que pode ter causado deficiência de manganês na planta. Recomenda-se a obtenção de medidas de reflectância espectral e do IAF em outros estádios de crescimento e desenvolvimento da cultura. Uma maior distância entre o radiômetro e o dossel da cultura além de um maior número de medidas por unidade experimental também é recomendado. Um estudo do comportamento espectral do milho sob diferentes níveis de irrigação visando estabelecer estresses hídricos, em diferentes estádios de crescimento e desenvolvimento, para simular ampla variação na produtividade de grãos seria recomendado para o entendimento da relação entre a resposta espectral e a produtividade de grãos e de fitomassa. Finalmente sugere-se ainda que independentemente da significativa variação entre blocos, a radiação solar não foi fator limitante para a produtividade de grãos tomando-se por base a estreita relação entre o NDVI e a fração da radiação incidente absorvida pela cultura do milho (Daughtry et al., 1992), o que explica a falta de efeitos significativos para os fatores espaçamento e população.

5. Referências bibliográficas

- Asrar, G.; M. Fuchs; E.T. Kanemasu; J.L. Hatfield. 1984. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal* 76: 300-306.
- Bauer, M.E. 1985. Spectral inputs to crop identification and condition assessment. **In Proceedings of the IEEE**, 73(6):1071-1085.
- Daughtry, C.S.T.; K.P. Gallo; S.N. Goward; S.D. Price; W.P. Kustas. 1992. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. **Remote Sensing of Environment**, 39:141-152.
- Deering, D.W. 1989. **Field measurements of bidirectional reflectance**. p. 14-65. *In* Asrar, G. (ed.) *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. New York, Wiley.
- Henderson, K. E.; G.D. Badhwar. 1984. An initial model for estimating soybean development stages from spectral data. **Remote Sensing of Environment**. 14:55-63
- Macedo, M. A.; Rudorff, B.F.T. Geotecnologias espaciais no seguro agrícola. **Agricultura em São Paulo** (no prelo).
- Moreira, M.A; Angulo Filho, R.; Rudorff, B.F.T. 1999. Eficiência do uso da radiação e índice de colheita em trigo submetido a estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, SP. 56(3): 597-603.
- Rudorff, B.F.T.; Batista, G.T. 1991. Spectral response of wheay and its relationship to agronomic variables in the tropical region. **Remote Sensing of Environment**, 31: 53-63.
- Steffen, C.A. Técnicas radiométricas com o Spectron SE-590. *In* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais**. Salvador: INPE/SELPER, 1996. P. 9-14.
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, 8(2): 127-150.