

## **Potencial de utilização de sensores multiespectral e hiperespectral no estudo de diferentes alvos agrícolas**

FURLANETTO, R.H.<sup>1</sup>; NANNI, M.R.<sup>2</sup>; CRUSIOL, L.G.T.<sup>1</sup>; SILVA, G.F.C.<sup>3</sup>; OLIVEIRA JUNIOR, A. de<sup>4</sup>

<sup>1</sup>UEM, Estagiário Embrapa Soja - Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal, Londrina, PR, rena-tohfurlanetto@hotmail.com; <sup>2</sup>Professor Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento – GALES/UEM;

<sup>3</sup>Doutorando PGA/UEM; <sup>4</sup>Pesquisador, Embrapa Soja

### **Introdução**

O sensoriamento remoto pode ser definido como uma tecnologia na qual se adquire informações sobre objetos sem que haja contato físico com os mesmos, através do uso de sensores e equipamentos para o processamento de dados (LILLESAND; KIEFER 1994). Os sensores mais amplamente utilizados na agricultura são os sistemas multiespectrais, constituídos por câmaras fotográficas semiprofissionais adaptadas para operar em outras bandas do espectro eletromagnético.

Além dos multiespectrais, existem os sensores hiperespectrais, imageadores ou não-imageadores, que são mais recentes e altamente promissores para aplicação no estudo de plantas. Trata-se de uma tecnologia que tem recebido amplo interesse na pesquisa agrícola, através da de-

tecção de mudanças nas características biofísicas e metabólicas nos tecidos das plantas (WEST et al., 2010), além do potencial de aplicação e o tipo de dados que pode gerar (CAMPBELL, 2007). Permite uma caracterização muito mais detalhada e confiável da variabilidade espacial de uma determinada área de estudo, como exemplo, identificação de deficiência nutricional, estágio de desenvolvimento, déficit hídrico, além de modelos estatísticos para predição da produtividade, estado nutricional das plantas, entre outras possibilidades. Por operarem em centenas de bandas espectrais contíguas e estreitas, com altíssima resolução espectral e espacial (sensores imageadores) a avaliação, identificação e classificação de problemas na agricultura só são possíveis através da identificação da “assinatura” espectral ou “resposta espectral” que cada objeto apresenta. Uma vez identificado, tais objetos podem ser classificados e diferenciados através da assinatura espectral. Já os sensores multiespectrais, por operarem em poucas bandas espectrais, apresentam limitações para a identificação mais detalhadas dos alvos desejados. A resolução espectral limitada desse tipo de sensor restringe a identificação genérica dos atributos desejados (VANE; GOETZ, 1993). Embora não apresentem precisão semelhante a um sensor hiperespectral, a utilização de tais sistemas é ampla na agricultura, devido aos custos baixos, quando comparado ao sistema hiperespectral, além da facilidade de aquisição e manuseio dos mesmos.

Deste modo, o presente trabalho tem por objetivo demonstrar as diferenças e potencialidades entre o sistema multiespectral obtido por um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulável) e um sistema hiperespectral imageador aerotransportado.

### **Material e Métodos**

Os tratamentos do experimento possibilitaram grande variação na disponibilidade de fósforo e de potássio no solo, sendo possível detectar sintomas de deficiência destes nutrientes nas plantas. As safras 2016/2017, o experimento vem sendo cultivado com a sucessão soja/milhos safrinha, sendo as avaliações realizadas somente na cultura do milho. No momento da avaliação, as plantas de milho estavam no estágio de desenvolvimento V6, em pleno crescimento vegetativo.

Para obtenção dos dados espectrais, foi realizado um sobre voo no dia 14 de abril de 2017, utilizando de um avião bimotor modelo PA-34-200T Seneca II (Piper Aircraft) onde foi instalado o sensor imageador hiperespectral AisaFENIX junto com a unidade GPS/IMU para coleta de dados referentes à correção geométrica das imagens, e o CPU para armazenamento das imagens, conforme visualizado na Figura 1. O voo foi realizado nos horários entre 12:00 e 15:00 em condição de céu limpo, sem presença de nuvens. As imagens foram corrigidas geometricamente e radiometricamente em laboratório para obtenção das curvas de reflectância dos diferentes objetos estudados.

Para obtenção das imagens multiespectrais foi utilizado um VANT modelo Tarot Iron Man 1000 composto por oito motores brushless de 340 Kv + sistema de transmissão de dados e rádio-controle, equipado com duas câmeras digitais semi-profissionais Fujifilm IS PRO, uma, operando um equipamento nas bandas do vermelho (red - R), verde (green - G) e azul (blue - B) e, a outra, na banda do infravermelho próximo (NIR), utilizando um filtro de  $0,72 \mu\text{m}$ . A obtenção das informações com o VANT foi realizada no dia 17/04/2017, ou seja, após 03 dias do voo com o bimotor.

## Resultados e Discussão

Na Figura 2 é possível observar as diferenças entre uma imagem multiespectral R G B + NIR (4 bandas espectrais) e uma imagem hiperespectral com 363 bandas espectrais. No estudo dos alvos de interesse em sensoriamento remoto hiperespectral é frequentemente utilizado o hipercubo da cena (imagem 3D). Esta imagem 3D contém um empilhamento/sobreposição de imagens bidimensionais, com diferentes comprimentos de onda, onde apresentam duas dimensões espaciais (x linhas - y colunas) e uma dimensão espectral ( $\lambda$  comprimentos de onda). Os sensores hiperespectrais imageadores por operarem em centenas de bandas espectrais contíguas e estreitas, com altíssima resolução espectral e espacial, possibilitam a identificação e classificação de problemas na agricultura através da identificação da "assinatura" espectral ou "resposta espectral" que cada objeto apresenta. Uma vez identificado, tais objetos podem ser classificados e diferenciados através da assinatura espectral.

Embora os sensores multiespectrais sejam limitados quanto ao número de bandas espectrais e resolução espectral, não sendo possível obter a “assinatura espectral” dos alvos, é possível a geração de índices de vegetações que buscam caracterizar parâmetros biofísicos da vegetação como área foliar, fitomassa, radiação fotossinteticamente ativa absorvida, produtividade, entre outros parâmetros.

Uma das utilizações dos índices de vegetação que tem-se tornado promissora é na caracterização de deficiência nutricional em plantas, sendo uma ferramenta extremamente importante para o rápido manejo da adubação de correção evitando maiores perdas na produtividade. Segundo Ponzoni (2001) e Silva Júnior (2007), as deficiências nutricionais são passíveis de serem detectáveis pelo índice NDVI, pois ocorrem alterações fisiológicas e estruturais na planta que promovem alteração no comportamento no espectro de reflectância.

Osborne et al. (2002), trabalhando com doses de nitrogênio e fósforo em milho, encontraram o maior valor de  $R^2$  para o índice GNDVI, obtido de dados de imagem multiespectral, quando analisado o rendimento de grãos, demonstrando a eficiência na utilização do índice para estimar a produção de grãos e deficiência de nutrientes. Os mesmos autores, em outro trabalho com milho, relataram que as reflectâncias no infravermelho próximo e na região azul do espectro eletromagnético, foram as que melhor se destacaram para predição precoce na deficiência de fósforo em milho quando as plantas estavam no estágio de desenvolvimento V6 e V8. Por outro lado, a concentração de nitrogênio na planta foi melhor predita utilizando a reflectância das bandas do vermelho e verde do espectro.

Na Figura 3 é possível observar as diferenças nas curvas espectrais da cultura do milho, grama e solo exposto, obtido pelo sensor imageador hiperespectral aerotransportado. Devido às características na constituição bioquímica das plantas, no comprimento de onda da região do visível do espectro eletromagnético, grande parte da energia é absorvida pelos pigmentos, sendo muito pouco transmitido para o dossel inferior da cultura. No comprimento de onda da região verde ( $0,55 \mu\text{m}$ )

ocorre grande reflectância causando a sensação de tonalidade verde na vegetação que observamos. A alta absorção do comprimento de onda vermelho e azul é devido às grandes concentrações de clorofilas nas folhas, sendo a amplitude dessa absorção variável de espécie para espécie, devido às variações nas concentrações de pigmentos entre as diferentes espécies vegetais (MOREIRA, 2011). Já na região do infravermelho ocorre um aumento significativo da reflectância quando comparado à região do visível, este aumento é devido às propriedades ópticas das folhas decorrente de sua morfologia, onde, de modo geral, quanto mais lacunosa for a estrutura foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, e conseqüentemente, maior será também a reflectância.

Já a curva espectral do solo apresenta características distintas do comportamento da vegetação. Na região próxima a  $0,5 \mu\text{m}$  e, também, em regiões do espectro eletromagnético de menor comprimento de onda, ocorrem absorções que podem ser atribuídas à presença de ferro em forma trivalente ( $\text{Fe}^{3+}$ ). HUNT et al., (1971) relata que a presença desta forma de ferro é responsável pela absorção devido a transferências de carga metal-ligante centralizada na região do ultravioleta, mas cuja tendência de baixa energia situa-se na região do visível.

Observa-se também o pico de inflexão na curva próximo a  $2,2 \mu\text{m}$  característico do mineral caulinita. A caulinita é um argilo-mineral frequentemente encontrado nos solos tropicais, trata-se de um mineral formado nos solos pelo intemperismo ou pela alteração hidrotermal de aluminossilicatos, como feldspato, ou como constituinte de rochas sedimentares. As feições características deste elemento são visíveis na região do infravermelho (HUNT; SALISBURY, 1970; HUNT et al., 1971), no infravermelho próximo, as feições mais perceptíveis estão associadas as combinações o alongamento do  $\text{OH}^-$  e as curvaturas de ligação entre  $\text{Al-OH}$  em  $2,2 \mu\text{m}$  (HLAVAY et al., 1977). Observou-se também a feição espectral da gibbsita situada na região do infravermelho, próximo a  $2,3 \mu\text{m}$ .

## Conclusão

Com a evolução na tecnologia de micro sensores a agricultura de precisão tem-se tornado cada vez mais presente nas lavouras através do uso de sensores multiespectrais e hiperespectrais, criando novas possibilidades para o rápido manejo e solução de problemas comuns na agricultura como, a identificação de regiões de baixa fertilidade do solo, espécies invasoras, déficit hídrico, identificação de pragas e doenças, entre outros. Além disso, a criação de modelos matemático-estatísticos tem-se tornado o foco principal nos centros de pesquisas em sensoriamento remoto, pois trata-se de uma ferramenta extremamente importante que visa substituir métodos laboratoriais geralmente de alto custo e demorados de análises de problemas comuns nas lavouras. Embora os sensores multiespectrais apresentem restrições quanto ao número de bandas espectrais disponíveis para caracterizar problemas específicos, os mesmos apresentam elevado potencial de aplicação através da utilização de filtros espectrais que melhor represente o problema no campo. Aliado a isso, operações de sensoriamento de remoto utilizando câmaras multiespectrais acopladas em VANT's diminuem o custo dessas operações e tornam-se um meio rápido e preciso para avaliar o ciclo de desenvolvimento das plantas a campo.

## Referências

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. 4th ed. New York: Guilford Press, 2007. 626 p.

HLAVAY, H.; JONAS, K.; ELEK, S.; INCZEDY, J. Characterization of the particle size and crystallinity of certain minerals by infrared spectrophotometry and other instrumental methods – I. Investigations on clay minerals. **Clays and Clay Minerals**, v. 25, p. 451-456, 1977.

HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I. Silicate minerals. **Modern Geology**, v. 1, p. 283-300, 1970.

HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W.; LENHOFF, C. J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: III. Oxides and hydroxides. **Modern Geology**, v. 2, p. 195-205, 1971.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 3rd. ed. New York: John Wiley and Sons, 1994. 750 p.

MOREIRA, A. M. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2011. 422 p.

nitrogen deficiencies in corn using spectral radiance measurements. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 6, p. 1215-1221, 2002. DOI: 10.1186/1471-2229-12-63.

OSBORNE, S. L.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; SCHLEMMER, M. R. 2002a. Detection of phosphorus and

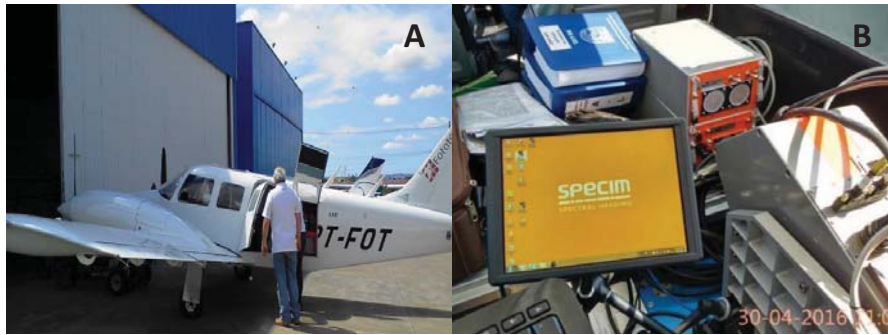
PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. (Ed.). **Sensoriamento remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília, DF: Editora UNB, 2001, p. 157-199.

SILVA JÚNIOR, M. C.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; SENA JÚNIOR, D. G.; ABRAHÃO, S. A. Utilização de imagens multiespectrais para detectar diferentes níveis nutricionais na forrageira *Brachiaria decumbens*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 401-406. 1 CD-ROM.

VANE, G.; GOETZ, A. F. H. Terrestrial imaging spectrometry: current status, future trends. **Remote Sensing of Environment**. v. 44, n. 2-3, p. 117-126, 1993.

WEST, J. S.; BRAVO, C.; OBERTI, R.; MOSHOU, D.; RAMON, H.; MCCARTNEY, H. A. Detection of fungal diseases optically and pathogen inoculum by air sampling. In: OERKE, E.C., GERHARDS, R., MENZ, G., SIKORA, R.A. (Eds.) **Precision crop protection - the challenge and use of heterogeneity**. Dordrecht: Springer Science + Business Media, 2010. p. 135-149.

Fotos: Renato Herrig Furlaneto



**Figura 1.** Avião utilizado no aerolevanteamento (A) com sensor imageador hiperespectral e componentes (B).



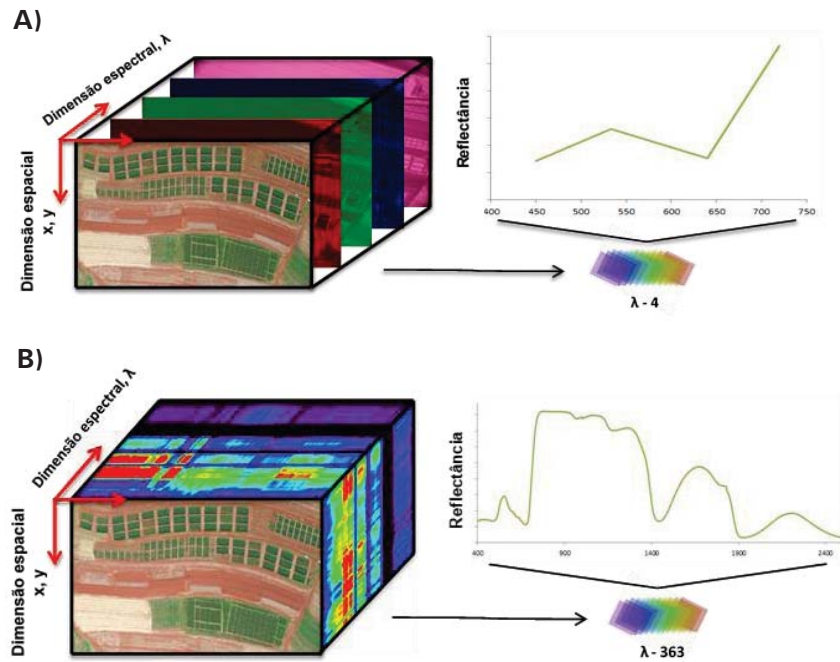


Figura 2. Diferenças entre imagem multiespectral de 4 bandas (A) e hiperespectral com 363 bandas + hiper-cubo (B), com os respectivos espectros de reflectância.

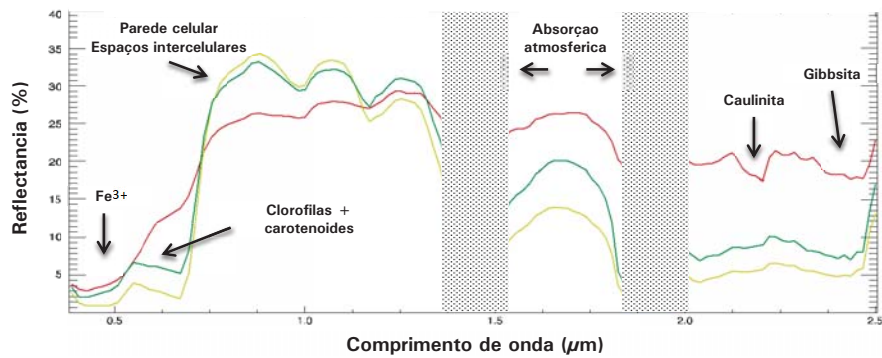


Figura 3. Espectro de reflectância obtido com sensor imageador hiperespectral AISAFeNiX de solo exposto (vermelho), milho (verde) e grama (amarelo). As colunas entre os comprimentos de ondas próximas de 1,4  $\mu\text{m}$  e 1,9  $\mu\text{m}$  indicam fortes absorções pela atmosfera.