

## Monitoramento da evolução temporal de cultivos agrícolas através de imagens TERRA/MODIS

Flavio Deppe<sup>1</sup>  
Marciel Lohmann<sup>1</sup>  
Luisnei Martini<sup>1</sup>  
Marcos Adami<sup>2</sup>  
Rogério Faria<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico SIMEPAR  
Caixa Postal 19100 – 81531-990 – Curitiba - PR, Brasil  
{deppe, marciel, luisnei}@simepar.br

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
adami@dsr.inpe.br

<sup>3</sup>Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR  
Caixa Postal 481- 86047-902 – Londrina, PR, Brasil  
rtfaria@iapar.br

**Abstract.** Remote Sensing technologies are used in several knowledge fields. In meteorology and related fields, provide data and information for atmosphere and land and sea surface monitoring and their complex phenomena. Specifically, in agriculture, Remote Sensing is used for crop monitoring and yield estimates, due to the possibility to obtain images with synoptic coverage in near real time. Normalized Difference Vegetation Indexes (NDVIs), produced using land surface reflectance, are used as a basis for phenological evolution analysis. The main objective of this work was to analyze the surface reflectance temporal evolution, using MODIS NDVIs, for wheat and oats during 2006 crop season in Paraná state, Brazil. In comparison with previous crop season, spectral response analysis indicated a reduction in the phenological evolution and development, NDVIs values reached 0,5 in some areas where the crop development was very poor. It was possible to identify in advance, the crops developing stage. Future work should include area estimates and spectral response validation.

**Palavras-chave:** Remote Sensing, crop monitoring development, area estimates, Sensoriamento Remoto, monitoramento do desenvolvimento de culturas, estimativas de áreas.

### 1. Introdução

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006), a produção brasileira de cereais, leguminosas e oleaginosas (incluindo algodão arbóreo e herbáceo, amendoim, arroz, aveia, centeio, cevada, feijão, girassol, mamona, milho, soja, sorgo granífero, trigo e triticale), em 2005 foi de 112,697 milhões de toneladas. O que representou 5,2% a menos do que em 2004 e 9,1% a menos do que 2003, ano em que a produção brasileira foi máxima, alcançando de 124,285 milhões de toneladas (IBGE, 2006). A área plantada em 2005 foi em torno de 50 mil Ha, com tendência à expansão de áreas agrícolas, principalmente no Brasil central (**Figura 1**). Assim, o monitoramento de cultivos, estimativas e previsão de safras, em áreas de caráter quase continental, com uma gama de culturas, condições climáticas, edáficas e tecnológicas diversificadas, representa um desafio para os órgãos oficiais como o IBGE e a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB).

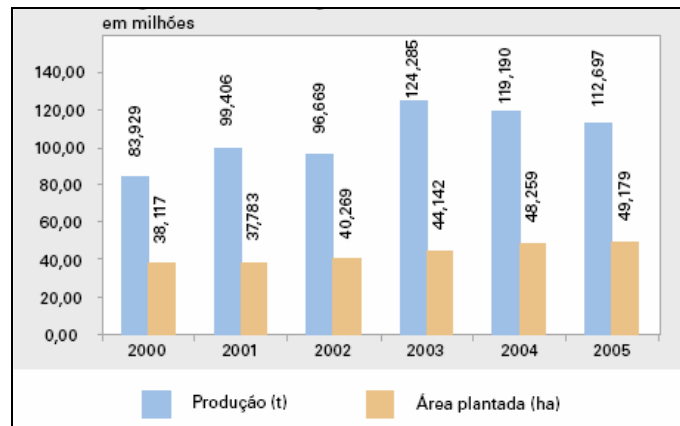


Figura 1. Total da produção e da área plantada de cereais, leguminosas e oleaginosas no Brasil (2000 a 2005) (Fonte: IBGE, 2006)

Tradicionalmente os levantamentos de safras, tanto no Brasil como em outros países, são realizados a partir de dados coletados por entidades ligadas ao setor agrícola. Este processo, em função de incluir entrevistas, prognósticos e estimativas empíricas, inevitavelmente insere subjetividade e incertezas nos dados gerados. Essa subjetividade pode ser minimizada pela efetiva integração de tecnologias de sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas e de modelos agrometeorológicos, que após trabalhos de desenvolvimento, testes e avaliações, irão permitir a geração de dados e informações de safras, em tempo hábil, com reduzida relação custo/benefício e com a possibilidade de mensurar os erros gerados. Pode-se citar como exemplo de tal iniciativa, o projeto Aperfeiçoamento Metodológico do Sistema de Previsão de Safras do Brasil, denominado GeoSafras. Esse projeto, que possui caráter multi institucional, é coordenado pela CONAB e conta com a participação de diversas instituições brasileiras nas áreas de pesquisa e tecnologia.

Na atualidade são várias as organizações mundiais que estão envolvidas no monitoramento de cultivos agrícolas, previsões e estimativas de safras. Os trabalhos desenvolvidos se aplicam em diferentes escalas (local, regional e global) e com diferentes objetivos. Por exemplo, existem trabalhos para a regulação e otimização do comércio mundial, para a estabilidade de preços, para a regulação de estoques e segurança alimentar. A produção agrícola (kg) é estimada por cultura, região e ano, e conseqüentemente se refere ao resultado do produto entre a extensão da área plantada (ha) e a produtividade (kg/ha), no momento da colheita. Estes dois fatores devem ser levantados e gerados independentemente. Os dados oriundos de Sensoriamento Remoto podem ser utilizados tanto para a estimativa de área quanto de produtividade. Para estimativa de área, por meio de mapeamento de parcelas e/ou talhões de cultivos agrícolas, normalmente são utilizadas imagens de alta ou de média resolução espacial geradas por Satélites de Observação da Terra (EOS), tais como SPOT (sensores HRV), CBERS (sensor CCD) e Landsat (sensores TM e ETM). Os sensores a bordo destes satélites capturam imagens com resolução espacial que varia de 2,5 a 30 metros, o que é compatível com a estrutura fundiária agrícola da maioria dos países produtores. No entanto os satélites com sensores com esta resolução possuem uma baixa resolução temporal, ou seja, reduzido ciclo de observação. Isto significa que uma mesma área pode ser imageada em média, uma vez por mês, sem contar com a interferência de nuvens. Esta característica limita a possibilidade do uso destes satélites para o monitoramento agrícola sistemático e estimativas de rendimento. Como conseqüência, estimativas de rendimento são geradas a partir da utilização de imagens que apresentam alta resolução temporal, tais como aquelas dos satélites

de órbita polar NOAA, sensores AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), SPOT, sensor VEGETATION e TERRA e AQUA, sensores MODIS. Estas imagens combinam ciclo diário de imageamento com cobertura sinótica.

No Projeto Monitoring Agriculture with Remote Sensing (MARS), o Joint Research Centre (JRC), da União Européia, desenvolveu o Crop Growth Monitoring System (CGMS), o qual gera informações sobre o monitoramento das culturas e estimativas de colheitas nos estados membros da União Européia (Supit e Van der Goot, 2003, Bouman et al., 1996). Neste caso, as estimativas de rendimentos são geradas a partir da combinação de três fontes independentes de informações: (i) modelo agrometeorológico (WOFOST), (ii) função de tendência que considera os dados de incrementos resultantes de aprimoramentos tecnológicos, (iii) dados espectrais das imagens NOAA/AVHRR e SPOT VEGETATION.

No Brasil, o sistema PrevSafras (Faria, et al. 2006), um produto do projeto GeoSafras, estima a produtividade de culturas por uma função de produção acoplada a um módulo de balanço hídrico, que é alimentado com dados meteorológicos diários. Para cálculo da produção regional, a área cultivada e evolução da semeadura são ainda implementados no PrevSafras com dados obtidos em levantamento de campo. A utilização de tecnologias de Sensoriamento Remoto na estimativa da evolução temporal de cultivos e área cultivada, poderá contribuir significativamente na aplicação desse sistema em trabalhos de previsão de safras.

Este trabalho possui como objetivo analisar a evolução temporal de cultivos de cereais de inverno (trigo e aveia), na safra 2006 no estado do Paraná, bem como gerar estimativas de áreas, a partir de Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDNs), gerados pelo sensor MODIS (satélite TERRA).

## 2. Materiais e Métodos

A área de estudo se insere no estado do Paraná, Brasil, sendo que foram selecionados os 167 municípios do estado do Paraná, os quais conjuntamente representaram 90% da área plantada com trigo e aveia na Safra 2005, de acordo com os dados do IBGE (**Figura 2**).

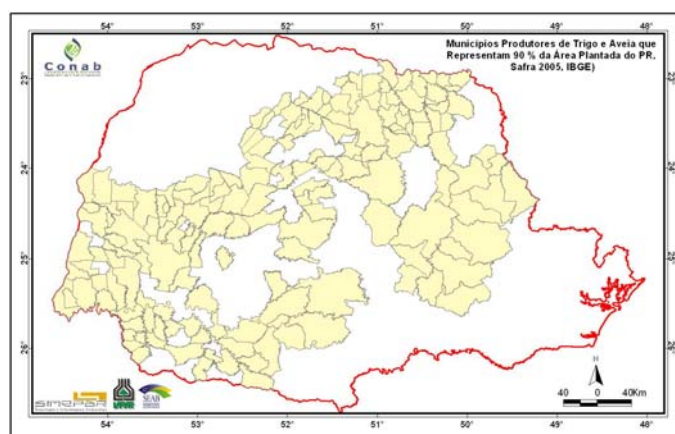


Figura 2. Localização da área de estudo (estado do Paraná, Brasil) e distribuição espacial dos municípios selecionados

Os sensores MODIS possuem a capacidade de gerar imagens em 36 (trinta e seis) diferentes bandas, as quais capturam energia nos comprimentos de onda desde 0,4 a 15  $\mu\text{m}$ , com resolução espacial que varia de 250 metros a 1 Km. Deste conjunto de imagens e bandas, são produzidos 44 (quarenta e quatro) produtos. Estes produtos são denominados de MOD01 a MOD44. No caso específico de produtos e/ou imagens de índices vegetação, são

disponibilizados composições de 8, 15 e 30 dias de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ou IVDN, e também de EVI (Enhanced Vegetation Index).

Os índices de vegetação são resultados de combinações de medidas radiométricas que procuram representar a quantidade, estrutura, fenologia e condições da vegetação, servindo como indicadores da variação desta. No caso dos índices de vegetação MODIS, os mesmos são produzidos utilizando as 4 (quatro) primeiras bandas. Para o cálculo do IVDN utiliza-se a banda em “vermelho (V.)”, (0,620 a 0,670  $\mu\text{m}$ ), e no “infra-vermelho próximo (I.V.)”, (0,841 a 0,876  $\mu\text{m}$ ) (**Equação 1**), com resolução espacial de 250 metros.

$$IVDN = \frac{I.V. - V.}{I.V. + V.} \quad \text{Eq. 1}$$

A geração da máscara de cultivos de cereais de inverno no estado do Paraná envolveu a geração de uma imagem de IVDN MODIS (Satélite TERRA), para ser utilizada como imagem contendo IVDNs máximos. Esta imagem foi denominada “IVDN MODIS Referência”. A partir da imagem contendo os IVDNs dos municípios selecionados, foram realizadas as operações de imagem diferença, com as imagens IVDN MODIS de 2006.

Neste trabalho, a alternativa para a discriminação temática e espacial utilizada foi a operação de imagens diferença. A partir da observação do desenvolvimento dos cereais de inverno no estado do Paraná, constatou-se que os cultivos apresentam fenologias máximas no período entre os meses de julho, agosto e setembro. Isto em função das diferentes épocas de plantios adotadas, por região. Por exemplo, para a cultura do trigo os plantios iniciam em março no norte e finalizam em julho no sudeste do estado. As culturas de cevada, triticale e centeio apresentam áreas reduzidas de plantio no estado do Paraná. Sendo assim, a máscara gerada se refere às culturas de trigo e aveia. Para tanto, utilizou-se como base, somente as estimativas de áreas cultivadas com trigo e aveia, e seus respectivos municípios (Safrá 2004/05, IBGE). Outro critério adotado foi o de considerar, do total de área plantada no estado com cereais de inverno, o valor de 90% do mesmo. A adoção de tal critério justifica-se em função de se considerar que os 10% restantes são plantados com triticale, cevada e centeio (IBGE, 2006). Entende-se ainda que os 90% representam, para fins de análise e comportamento da safra, um valor significativo e confiável, podendo ser utilizado como base para tal estudo.

As operações de imagem diferença, resultam em variações de IVDNs, a partir da imagem de referência. Assim, as imagens diferença resultantes (máscaras), que apresentam valores de IVDN de diferença representativos, representam áreas que em safras anteriores foram cultivadas com cereais de inverno. Neste caso, com trigo e aveia. Os pixels com valores de IVDNs de diferença baixos, representam áreas com IVDNs similares aqueles das safras anteriores. Portanto, não representam áreas com cereais de inverno. Por exemplo, IVDNs oriundos de áreas com florestas, pastagens e culturas permanentes, como não sofrem grandes modificações nas suas fenologias e desenvolvimento vegetativo, de um ano para o outro, resultando em IVDNs de diferença com valores baixos.

A partir das máscaras, geradas para os períodos específicos a partir de junho de 2006, foram extraídos os perfis espectrais (contendo valores, frequências e médias), bem como geradas as espacializações e as estimativas de áreas.

### 3. Resultados e Discussões

A **Figura 3** apresenta o resultado da imagem de máximo IVDN e a localização do cultivo de trigo e aveia nos municípios selecionados.

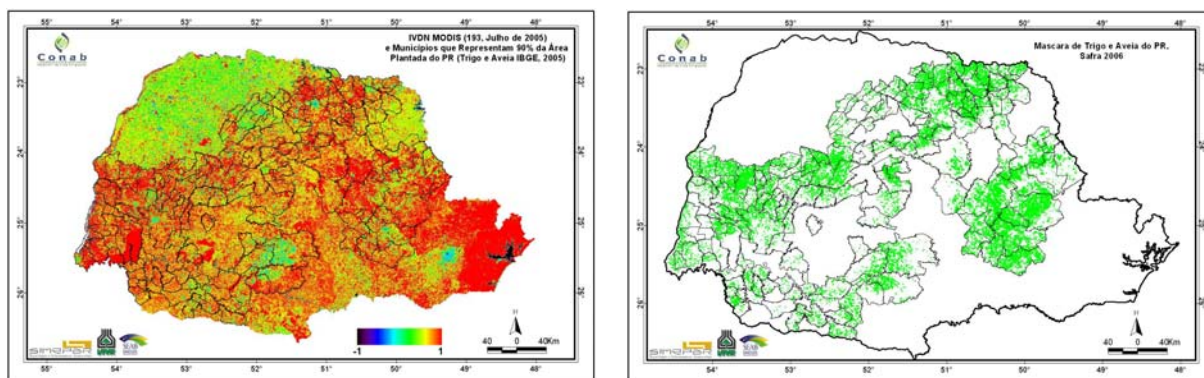


Figura 3. Imagem de IVDNs máximos (esquerda) e imagem com a espacialização da máscara de trigo e aveia (direita)

A **Figura 4** ilustra as imagens de IVDN entre o período de maio a setembro, ordenadas por data. Nesta figura pode-se observar a evolução do IVDN, que em média atinge o máximo em julho e a evolução da área de solo exposto (áreas em tons de azul), de agosto para setembro.

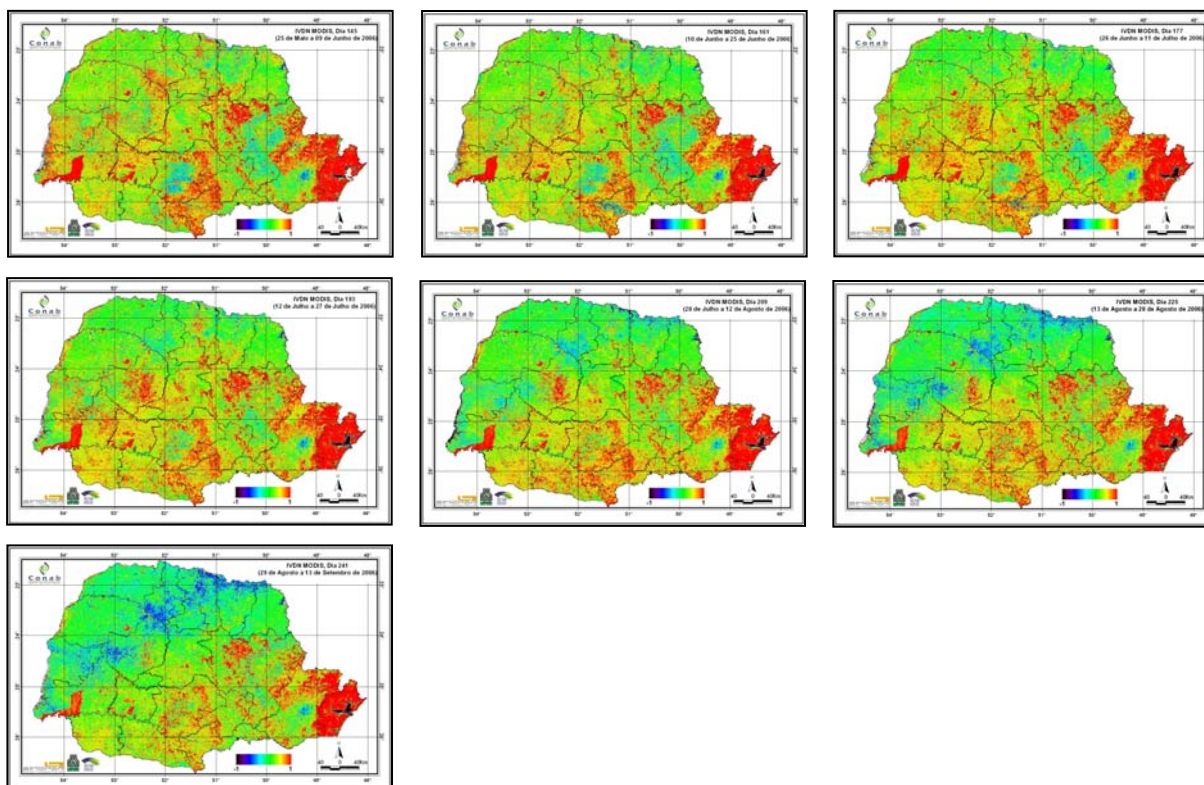


Figura 4. Imagens de IVDN MODIS do período entre 25 de Maio a 13 de Setembro de 2006

A utilização de imagens de IVDN (**Figura 4**) possibilitam a geração de máscaras de plantios, bem como o monitoramento do desenvolvimento fenológico ao longo das safras. Sendo assim, é possível obter avaliações qualitativas e quantitativas dos plantios, anteriormente às colheitas.

Os valores de estimativas de áreas de trigo e aveia gerados pelos órgãos oficiais (CONAB e IBGE), considerando-se 90% da estimativa de área plantada com trigo e aveia da safra de



2005, bem como da área total da máscara de trigo e aveia, foram 1.403.123 Ha e 1.409.706 Ha, respectivamente. Esta máscara representa áreas que poderiam ser cultivadas com trigo e aveia na safra 2006.

Salienta-se que o inverno de 2006, foi caracterizado, no estado do Paraná, por um déficit hídrico (estiagem), quando os dados de precipitação são comparados com aqueles do inverno de 2005, bem como com dados históricos. Na **Figura 5** pode ser verificada a diferença de desenvolvimento de ambas as safras. Esta diferença se caracterizou pela redução de área plantada e/ou redução das lavouras que apresentaram desenvolvimento fenológico, na safra 2006. A frequência de IVDNs no período de pico fenológico foi menor que o ano anterior.

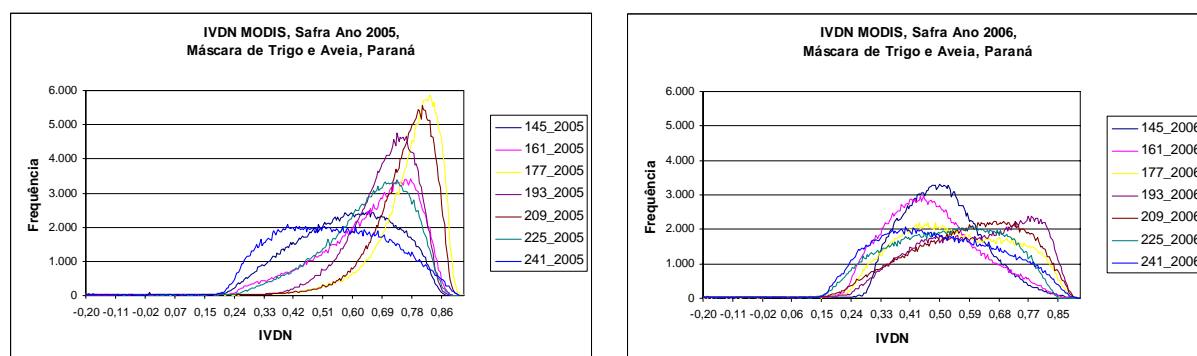


Figura 5. Perfil espectral da máscara de trigo e aveia, IVDN MODIS, safra de 2005 (esquerda) e 2006 (direita), no estado do Paraná

Observando a **Figura 6**, a qual ilustra as médias dos IVDNs na área da máscara, nos períodos das composições MODIS, comprova-se a diferença no desenvolvimento fenológico entre as duas safras. Os maiores valores de IVDNs médios foram em torno de 0,8 e 0,6, para a safra de 2005 e 2006, respectivamente. Esta diferença indica uma redução no vigor vegetativo e conseqüentemente uma redução na produtividade. A partir de análises dos perfis espectrais (de 2005 e 2006), pode-se concluir o seguinte:

#### Safra 2005:

- (1) No período entre 25 de maio a 09 de junho, o perfil espectral indica início de desenvolvimento fenológico com IVDN de maior frequência em torno de 0,70;
- (2) O pico fenológico iniciou no período entre 26 de junho a 11 de julho, e se estendeu até o período de 28 de julho a 12 de agosto e se caracteriza por frequências um pouco abaixo de 6.000 pixels;
- (4) No período analisado foi observado o início de senescência que ocorreu na composição dia Juliano 225 (13 a 28 de agosto);
- (5) Na composição dia Juliano 241 (29 de agosto a 13 de setembro) nota-se que os valores de IVDN não apresentam um pico definido e estão distribuídos em torno de IVDN de 0,5, caracterizando o período de senescência;

#### Safra 2006:

- (1) No período entre 25 de maio a 09 de junho, o perfil espectral indica condições de ausência de fenologia;
- (2) O pico fenológico iniciou no período entre 12 de julho a 27 de julho, com frequências em torno de 2.000 pixels;

- (3) Em todo o período não foi observada uma curva de perfil espectral com características de desenvolvimento fenológico (passando por início de fenologia, pico de fenologia e início de senescência);
- (4) Na composição dia Juliano 241 (29 de agosto a 13 de setembro) nota-se que os valores de IVDN não apresentam um pico definido e estão distribuídos em torno de IVDN de 0,4, caracterizando o período de senescência;

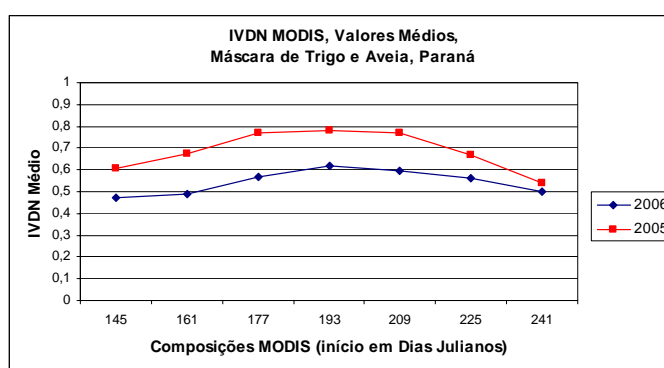


Figura 6. IVDN MODIS médios, máscara de trigo e aveia (2005 e 2006) no estado do Paraná

Análises regionais se fazem necessárias em função principalmente de aspectos relacionados a diferentes épocas de plantio, e variações nas condições meteorológicas, edáficas e tecnológicas. Sendo assim, foram gerados os perfis espectrais para as seguintes regionais do estado do Paraná de Londrina, Ponta Grossa, Toledo, Cascavel, Cornélio Procópio e Campo Mourão. A partir de análises e comparações dos perfis espectrais das safras de 2005 e 2006, pode-se concluir que o desenvolvimento fenológico para a safra 2006, em todas as regiões consideradas, apresentou redução significativa se comparados com aqueles de 2005. O menor desenvolvimento fenológico pode ser observado a partir dos perfis espectrais de Cornélio Procópio, sendo que os picos de frequência de valores de IVDN ficaram em torno de 0,5, possivelmente em função da estiagem. Já o melhor desenvolvimento fenológico pode ser observado na Regional de Campo Mourão, sendo que os picos de frequência de valores de IVDN ficaram em torno de 0,8.

A **Tabela 1** ilustra as estimativas de áreas extraídas das imagens IVDN MODIS, que apresentaram os maiores picos fenológicos. Estas estimativas são resultados das análises realizadas a partir de imagens geradas até 28 de agosto de 2006. Sendo assim, não sofreram nenhum tipo de validação a partir de dados de campo (subjetivos ou objetivos). O somatório das estimativas de área para as regionais acima referidas chegou a 662.000 Ha. No caso da utilização da máscara de trigo e aveia para todo estado do Paraná, as estimativas foram de 790.000 Ha. Sendo assim, as estimativas indicam uma redução de aproximadamente de 50% da área de trigo e aveia, se comparadas as safras de 2005.

Tabela 1. Estimativas de áreas de trigo e aveia em regiões do estado do Paraná

<i>Região</i>	<i>Período (IVDN MODIS)</i>	<i>Estimativa de Área (Ha)</i>
Londrina	12 de julho a 27 de julho de 2006	63.000
Ponta Grossa	13 de agosto a 28 de agosto de 2006	240.000
Toledo	12 de julho a 27 de julho de 2006	116.000
Cascavel	12 de julho a 27 de julho de 2006	79.000
Cornélio Procópio	12 de julho a 27 de julho de 2006	39.000
Campo Mourão	12 de julho a 27 de julho de 2006	125.000
<b>TOTAL</b>		<b>662.000</b>

#### 4. Conclusões

A utilização da presente metodologia possibilitou o monitoramento do desenvolvimento de cereais de inverno (trigo e aveia), na região e/ou área selecionada, bem como a geração de estimativas de áreas. Os dados e informações referentes ao monitoramento, bem como estimativas de áreas, foram gerados ao longo da safra. Sendo assim, os resultados foram disponibilizados anteriormente a colheita das referidas culturas.

#### Referências

- Baret, F.; Guyot, G. Potentials and Limits of Vegetation Indices for LAI and APAR Assessment. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 3, p. 161-173. 1991.
- Batista, G. T.; Shimabukuro, Y. E.; Laurence, W. T. Monitoramento da Cobertura Florestal através de Índices de Vegetação do NOAA- AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993. Curitiba, **Anais...**, Curitiba: INPE, 1993. p. 30-37.
- Bouman, B.A.M.; Schapendonk, A.H.C.M.; Stol, W.; van Kraalingen, D.W.G. **Description of the growth model LINGRA as implemented in CGMS**. In Quantitative Approaches in Systems Analysis, Wageningen: European Commission, Production Ecology and AB-DLO, Wageningen University and Research Centre. 1996. p. 11-22.
- Faria, R. T. de; Ribas, A.F.; Chibana, E.Y. Adame, M.; Deppe, F.; Gomes, C.D. Estimativa da produtividade de soja no Paraná usando o sistema PrevSafras. In: XXXV CONBEA, 2006, João Pessoa. **Anais...**, XXXIII Conbea. Jaboticabal-SP: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006. v. CDRom, p. 1310-1313.
- Fontana, D. C.; Weber, E.; Ducati, J. R.; Figueiredo, D. C.; Berlato, M. A.; Bergamaschi, H. A case study of crop monitoring and harvest forecast in south Brazil. Proceeding of the 28<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing for Environment, Março de 2000. **Anais...**, Cape Town, África, ICRSE, p. 91-94. 2000.
- Hayes. M. J.; Decker, W. L. Using NOAA AVHRR data to estimate maize production in the United States Corn Belt. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 16, p. 3189 – 3200, 1996.
- IBGE. **Produção Agrícola Municipal (Cereais, Leguminosas e Oleaginosas, 2005)**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Rio de Janeiro, RJ. ISBN 85-240-3890-X, 2006. 65 p.
- Schroeder, W.; França, J. R. de A.; Ceballos, J. C. Análise da Evolução Temporal da Cobertura Vegetal Usando dados AVHRR/NOAA. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis: SBA, 1999. (CD-ROM).
- Supit, I.; Van der Goot, E. **Updated system description of the WOFOST crop growth simulation model as implemented in the Crop Growth Monitoring System, CGMS, applied by the European Commission**. Trebook 7, ISBN 90-804443-8-3, Treemail Publishers, Heelsum (The Netherlands), 2003. 120 p.