

Análise dos perfis temporais de EVI/MODIS para o monitoramento da cultura da soja no Estado de Mato Grosso, Brasil.

Damien Arvor¹
João Lima Sant'Anna Neto²
Vincent Dubreuil¹
Ivan Rodrigues de Almeida³
Margareth Simões Penello Meirelles^{4,5}

¹ Universidade de Rennes 2, laboratorio COSTEL-LETG UMR 6554 CNRS
Place du Recteur H. Le Moal 35043 RENNES CEDEX - França
damien.arvor@uhb.fr, vincent.dubreuil@uhb.fr

² Universidade Estadual Paulista, Laboratório de Climatologia GAIA
Rua Roberto Simonsen, 305 – 19060-900, Presidente Prudente, SP
joalima@fct.unesp.br

³ EMBRAPA SOJA – CNPSO, Londrina, PR
ira@cnpso.embrapa.br

⁴ Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ
Departamento de Engenharia de Sistemas e Computação – Pos Graduação em Geomatica

⁵ Embrapa Solos
Rua Jardim Botânico, 1024 – Rio de Janeiro, RJ
maggie.meirelles@gmail.com

Abstract. The soybean cultivation has known a huge increase for about 20 years in the state of Mato Grosso. It is now representing the first source of income for this region and it became important to control its expansion and its yields. We used the Enhanced Vegetation Index (EVI) from the MODIS satellite in order to detect the areas cultivated with soybean through a supervised classification. Then, the temporal profiles of EVI analyzed at different spatial scales, from field to county, permit an estimation of the agricultural calendar and give indications about the strategies applied by producers to reduce the negative effects of rainfall on yields.

Key Words: MODIS, EVI, soybean, Mato Grosso, rainfall, MODIS, EVI, soja, Mato Grosso, Chuva.

1. Introdução

O estado do Mato Grosso, localizado na região Centro-Oeste do Brasil, com uma superfície de aproximadamente 906 mil Km², vem apresentando um significativo desenvolvimento agrícola nos últimos 30 anos. Esta vasta região tropical situa-se ao sul da floresta amazônica, dominada por uma vegetação natural constituída majoritariamente pelo cerrado (savana arbórea). Entretanto, o avanço da fronteira agrícola rumo ao norte, tem provocado uma rápida substituição da cobertura vegetal natural, pelas lavouras da sojicultura, que se tornou a maior fonte de renda e riqueza do estado.

Dados recentes demonstram que o Estado do Mato Grosso apresenta cerca de 6,1 milhões de hectares cultivados pela cultura da soja (IBGE, 2005), o que o transformou no maior produtor brasileiro deste produto, superando o Estado do Paraná. Este rápido crescimento e o espetacular avanço territorial da soja foram induzidos e favorecidos pelo desenvolvimento tecnológico da pesquisa agropecuária brasileira, que adaptou a cultura da soja às condições do meio tropical (Bertrand et al., 2004).

O clima do centro-oeste, particularmente da borda amazônica, área de estudo da presente pesquisa, é classificado como Tropical do Brasil Central (quente e úmido a sub-úmido) caracterizado por uma estação seca que dura de 5 a 7 meses (abril a outubro) e por um regime pluviométrico estacional fortemente concentrado, em que cerca de 70% das chuvas precipitam entre os meses de novembro a março, totalizando algo em torno dos 2000 mm anuais. Este período chuvoso de verão constitui-se num verdadeiro trunfo para explicar os elevados rendimentos e produtividade agrícola (acima da média nacional) da soja na região. Entretanto, dadas as características irregulares das precipitações tropicais, estes mesmos fatores podem, muitas vezes, provocar severos impactos e causar pesadas perdas agrícolas já que os riscos climáticos são um fator a ser considerado. Entre estes riscos, dois podem ser citados como relevantes:

- Os períodos de veranico, ou estiagens prolongadas que ocorrem dentro da estação chuvosa podem perturbar fortemente o crescimento da planta em função da natureza da ocorrência. No período de semeadura, o veranico pode obrigar o agricultor ao replantio;
- O excesso de chuvas na estação úmida também pode igualmente afetar o rendimento, principalmente quando ocorrem no período da colheita. Precipitações intensas impedem o acesso das máquinas agrícolas às propriedades e, ao aumentar a taxa de umidade dos grãos, comprometem a qualidade.

Além destes fatores deve-se associar o efeito indireto do clima que pode favorecer a ocorrência de doenças como a ferrugem asiática nas propriedades rurais, perturbando o calendário de aplicação de produtos fitossanitários.

Nas últimas colheitas tem sido verificado que estes riscos climáticos foram particularmente sentidos pelos agentes sociais envolvidos, uma vez que o grau de vulnerabilidade da população mato-grossense, como de resto a brasileira, é elevado e, dada a importância da cadeia produtiva da soja na economia nacional, a variação de seu preço provoca profundos desarranjos na agricultura do país.

Estes fatores demonstram a importância dos estudos sobre os riscos climáticos e, para isso, a utilização do sensoriamento remoto pode trazer significativos avanços e contribuições.

2. Metodologia

Neste artigo optou-se por um enfoque a partir dos dados do satélite americano MODIS-TERRA, que por apresentar uma média resolução espacial de 250 metros e uma alta resolução temporal diária, permite efetuar um acompanhamento das culturas em diferentes escalas espaciais, do município à propriedade ou parcela rural. Essa resolução espacial de 250 metros é considerada suficiente para estudar as áreas de soja no Mato Grosso porque essa cultura está cultivada em grandes fazendas latifundiárias cuja área pode chegar a mais de 40.000 ha, em alguns casos.

Devido ao clima tropical atuando na região de estudo, a quantidade de imagens afetadas pela presença de nuvens é muito grande, especialmente na estação chuvosa. Por isso, resolveu-se utilizar os dados de índice de vegetação propostos pela NASA com uma resolução temporal de 16 dias (MOD13), calculados a partir de composições de dados diários (MOD09). Este produto, MOD13 permite dois índices de vegetação: o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e o EVI (Enhanced Vegetation Index). Apesar de o NDVI ser o índice geralmente mais estudado, optou-se, neste estudo, por analisar o EVI em consequência das suas características definidas como: *“improved sensitivity in high biomass regions and improved vegetation monitoring through a decoupling of the canopy background signal and a reduction in atmosphere influences”* (Huete et al., 1999). Por isso, esse índice resulta ser mais adequado a um estudo envolvendo uma área de clima tropical como o Mato Grosso. A sua

fórmula inclui as bandas do Azul (B), do Vermelho (R) e do Infra Vermelho Próximo (NIR) e, é definida da forma seguinte:

$$EVI = \frac{2(NIR - R)}{(L + NIR + C1.R + C2.B)}$$

Onde L é um termo de ajuste para minimizar o impacto do solo, e C1 e C2 são termos de ajuste para minimizar o impacto dos aerossóis.

Esses dados foram então analisados na forma de perfis temporais a fim de identificar as áreas cultivadas com soja no Mato Grosso e de realizar um acompanhamento do calendário agrícola na região, permitindo inferir algumas conclusões no que se referem as diferentes técnicas de manejo cultural aplicadas na região a fim de minimizar o risco climático.

As áreas cultivadas com soja foram detectadas para as safras 2004/2005 e 2005/2006 a partir de uma classificação supervisionada de máxima verossimilhança. As amostragens foram coletadas durante um trabalho de campo efetuado no primeiro semestre do ano 2006. Nesta classificação optou-se pela diferenciação de três tipos de cobertura vegetal: 1) culturas: a soja é a principal delas, ainda que a cultura do arroz tenha um calendário similar ao da soja mas sua área estadual representa somente 13% da área cultivada com a soja no estado; 2) pastagem-cerrado: essas duas coberturas vegetais tem perfis temporais de EVI comparáveis e por isso foram classificadas juntas, já que o enfoque do estudo é a soja; 3) floresta.

Para diferenciar os perfis temporais das três classes e especialmente a soja, foram extraídos 6 atributos dos perfis para efetivar a classificação. Esses atributos (em parte encontrados no trabalho de Jonathan, 2005 e Jonathan et al, 2006) são: 1) Diferença entre o máximo do EVI na época de máximo potencial da soja (dezembro a abril) e o mínimo do EVI na época seca sem soja (de julho até a metade de setembro); 2) Diferença entre o máximo do EVI na época de máximo potencial da soja (dezembro a abril) e o mínimo do EVI na época potencial de colheita da soja e plantio da safrinha (fevereiro a abril); 3) O ângulo médio do perfil com o eixo das abscissas num período de 80 dias a fim de caracterizar a rapidez do crescimento da soja comparada com o cerrado; 4) Máximo de EVI na época de máximo potencial da soja (dezembro a abril); 5) Máximo do EVI potencial de colheita da soja e plantio da safrinha; 6) Mínimo do EVI na época seca sem soja (julho a metade de setembro). Depois da classificação ser efetuada, é usado um filtro median 3x3 para eliminar o ruído existente, ou seja, os pixels isolados.

Uma vez realizada a classificação, os perfis temporais de EVI foram estudados tanto na escala municipal quanto na escala da propriedade rural a fim de mostrar a resposta dos produtores aos riscos climáticos. Também foi analisada a ligação entre os perfis temporais e os rendimentos para os municípios de Lucas do Rio Verde e Campo Novo do Parecis para a safra 2005/2006, já que essa safra foi mais prejudicada pelas condições climáticas.

3. Resultados

Localização das áreas produtoras de soja

A classificação realizada (**figura 1**) permite distinguir claramente quatro principais regiões de produção da soja no MT: ao longo da BR 163, que liga Cuiabá a Santarém na região central; na Chapada dos Parecís, a oeste; na região de Primavera do Leste, ao sudoeste; e, nas proximidades de Querência, à leste. Comparando as estimativas de área cultivada com os dados oficiais do IBGE, obte-se uma boa correlação de $R = 0.9830$. Mas, apesar de a correlação ser boa, percebe-se que existem problemas de estimativas em alguns municípios. Assim, a área cultivada em Sorriso, Sinop e Nova Mutum estão extremamente subestimadas em 134.000, 58.000 e 44.000 ha. Essas diferenças não foram ainda bem explicadas. Algumas

hipóteses poderiam sugerir o uso de novas delimitações de áreas municipais que não foram registradas seja pelo IBGE ou pela SEMA-MT (Secretaria de Estado do Meio Ambiente-MT), que forneceu a mapa das fronteiras municipais, ou ao fato de que nesses municípios situados ao longo da BR163, muitos produtores plantam em várias fazendas localizadas em municípios vizinhos (por exemplo, a Colonizadora Feliz que fundou o município de Sorriso e cultiva 5.000 ha em Sorriso e 10.000 ha no município vizinho de Vera). Desta forma, existe a dúvida em saber se a área contabilizada pelo IBGE trata da localização das fazendas ou da localização de onde é contabilizada a receita das fazendas.

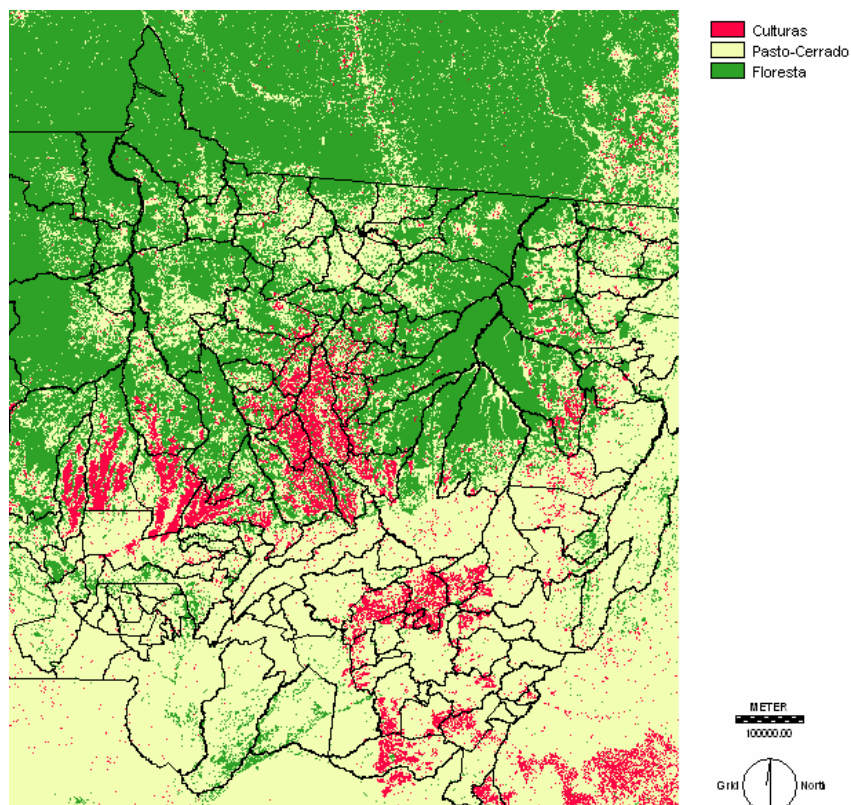


Figura 1: Resultado da classificação de máxima verossimilhança para a safra 2004/2005

Estratégias para a prevenção de riscos climáticos nas regiões produtoras de soja

Um estudo mais aprofundado dos perfis temporais dos pixels classificados como cultura, permite compreender melhor o calendário agrícola no estado. Por exemplo, segundo informações obtidas através de entrevistas no município de Campo Novo do Parecis, foi possível estimar a evolução da percentagem de área semeada e colhida semanalmente. Comparando estes dados com os perfis de EVI, pode-se observar a clara correspondência entre o início do aumento do EVI correspondente com o início do plantio e o mínimo do EVI na entressafra correspondendo a 50% da área colhida. A partir deste momento, o EVI volta a crescer um pouco devido a cultura de safrinha (milho ou algodão) semeada logo depois das primeiras colheitas de soja (**Figura 3**).

Com esses perfis, também é possível comparar os calendários agrícolas de alguns municípios das quatro regiões definidas acima. Assim, a **figura 4** apresenta os perfis dos municípios de Lucas do Rio Verde (região da BR163), Sorriso (região da BR163), Campo Novo do Parecis (Chapada dos Parecis), Primavera do Leste (Região de Rondonópolis) e Querência (região leste).

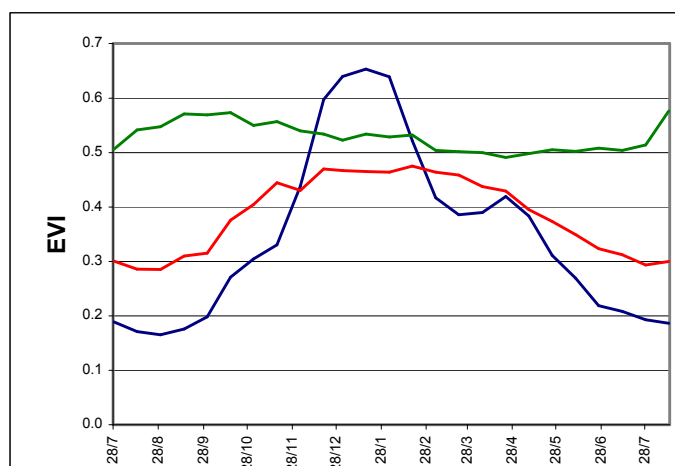


Figura 2: Perfis EVI para a safra 2004/2005 para as três coberturas vegetais classificadas (Azul = culturas; Vermelho = Pasto-Cerrado; Verde = Floresta)

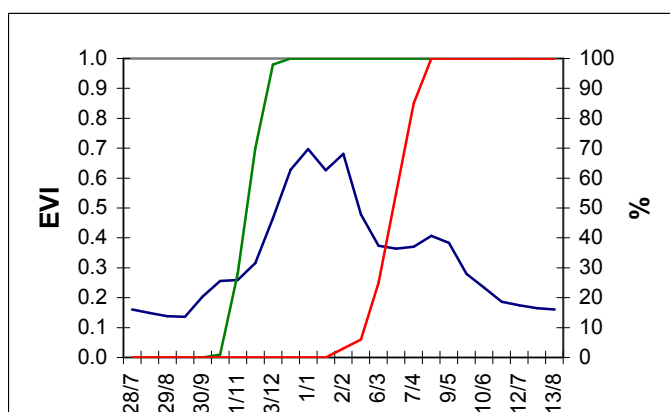


Figura 3: Perfil EVI da classe de soja para a safra 2004/2005 no município de Campo Novo do Parecis e comparação com a evolução do plantio e da colheita (Azul = Perfil EVI; Verde = Percentagem de area semeada, Vermelho = Percentagem de área colhida)

A partir desses perfis, foi possível determinar em que ordem a soja é semeada no Mato Grosso. Lucas do Rio Verde é o primeiro município a semear, a partir da segunda metade de setembro, seguido de Sorriso, Campo Novo do Parecis, Primavera do Leste e Querência a partir de novembro. Relacionar esses calendários com o regime de chuvas de cada região e com as estratégias próprias aos produtores de cada município para tentar minimizar os efeitos negativos do clima, torna-se uma tarefa interessante e reveladora. Primeiramente, a partir das médias anuais de chuva (de 1985 a 2001) nas quatro estações localizadas em Sinop (perto de Sorriso), Campo Novo do Parecis, Primavera do Leste e Ribeirão Cascalheira (perto de Querência) percebe-se que chove bem mais na região da BR163 (média de 1961 mm) e da chapada dos Parecis (1843 mm) do que na região de Primavera do Leste (1707 mm) e na região leste (1552 mm). Essas diferenças se traduzem por uma estação chuvosa menor no leste e no sudeste do MT, o que obriga os produtores destas áreas a semear mais tarde do que na região central do MT e, assim compromete a possibilidade de fazer uma safrinha depois da soja. Isso é confirmado pelos perfis do EVI onde se distingue muito bem a presença dum novo ciclo cultural depois da soja, especialmente em Lucas do Rio Verde e Sorriso. Em Campo Novo do Parecis (onde as áreas de milho e de algodão representam cerca de 20% da área de soja), a safrinha não é tão comum como em Lucas do Rio Verde (70% da área de soja) devido ao fato de que os produtores plantam um pouco mais tarde. Assim aparecem duas estratégias

diferentes para se aproveitar do mesmo regime climático. Em Lucas do Rio Verde, os produtores preferem semear mais cedo, aceitando, assim, as eventuais perdas de rendimento da soja no período da colheita (perdas estas que não podem ser comprovadas, assumindo que os dados do IBGE estão corretos), e de aproveitar o fim da estação das chuvas para obter uma boa segunda colheita, do milho ou do algodão. Ao contrário, em Campo Novo do Parecis, os produtores optaram por respeitar com maior rigor o calendário agrícola estabelecido pelos órgãos governamentais, semeando no período estipulado, objetivando otimizar os rendimentos, atenuando os potenciais efeitos dos riscos climáticos. Desta forma, preocuparam-se menos com uma segunda colheita.

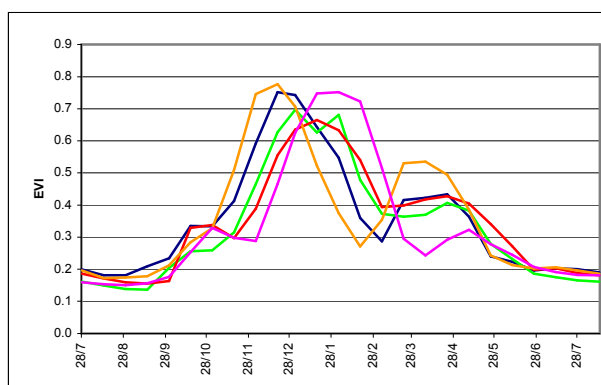


Figura 4 : Perfil EVI da classe de soja para a safra 2004/2005 nos municípios de Lucas do Rio Verde (laranja), Sorriso (azul), Campo Novo do Parecis (verde), Primavera do Leste (Vermelho) e Querência (rosa).

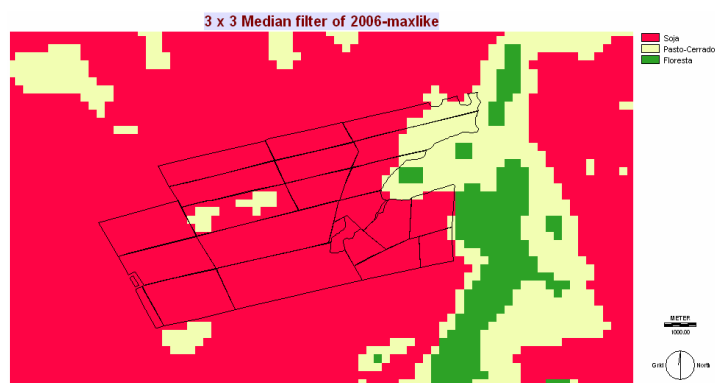


Figura 5: Mapa da Fazenda Chapecó em Campo Novo do Parecis

À escala da propriedade, ou parcela rural, os perfis temporais de EVI permitem observar que os produtores procuram variar ao máximo tanto os períodos de semeadura quanto o ciclo das variedades (precoce, médio ou tardia), com o objetivo de limitar o impacto de possíveis irregularidades pluviométricas, de tal forma que possam obter colheitas em períodos distintos de tempo, em diferentes áreas. Um exemplo deste procedimento é o caso da Fazenda Chapecó, em Campo Novo do Parecis (**figura 5**), em que a semeadura foi realizada entre 10 de outubro e 14 de novembro de 2005 e, a colheita, entre 5 de fevereiro e 13 de abril de 2006. Os ciclos das variedades utilizadas variaram entre 110 e 152 dias. Isto pode ser comprovado, claramente, a partir do estudo do perfil de EVI das três parcelas marcadas (**figura 6**). Observou-se, também, que as primeiras colheitas (T12) foram plantadas em safrinha para a seguinte (frequentemente milho ou algodão), enquanto que, as outras, foram simplesmente recobertas pelo milheto ou o sorgo, de onde o segundo pic, menos elevado e mais adiante (maio de 2006), por T5 e T16. Apesar de estes dois talhões serem semeados com soja de ciclo

diferente, não foi possível diferenciar o ciclo por causa da resolução temporal de 16 dias dos dados de EVI.

Relação Clima e Rendimento

Apesar de estas práticas culturais terem como objetivo prevenir os riscos climáticos advindos da irregularidade pluviométrica, numerosas perdas de rendimento são sentidas. Por exemplo, a safra 2006 foi particularmente prejudicada pelas chuvas na colheita. Assim, mesmo que os dados da colheita 2005/2006 do IBGE não terem ainda sido publicados e divulgados, estima-se que cerca de 1 milhão de toneladas de soja foram perdidas nesta colheita, no estado do Mato Grosso (Diário de Cuiabá, 19/03/2006). Mais precisamente, em escala local, a colheita em Campo Novo do Parecis foi largamente atingida pelas fortes precipitações ocorridas no período da colheita, resultando num rendimento estimado entre 43 e 45 sacas/hectare (Diário de Cuiabá, 19/03/2006).

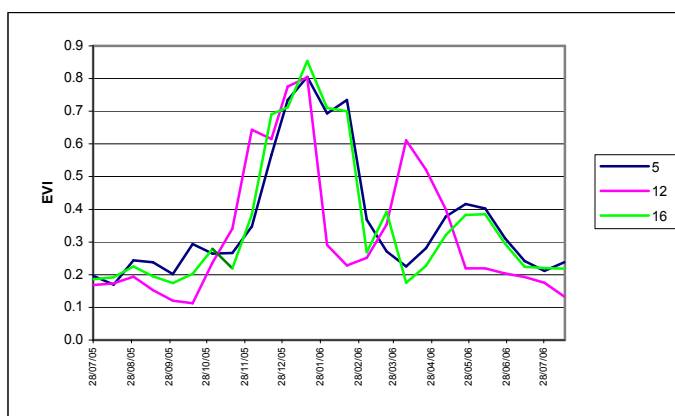


Figura 6: Perfis temporais de EVI de três talhões da Fazenda Chapeco (Campo Novo do Parecis)

O IMEA (Instituto Mato-Grossense de Economia Agrícola), em seu boletim de 30/03/2006, fez a mesma constatação: “O tempo tem prejudicado o fim da colheita em vários municípios e, a colheita da soja tardia apresenta cerca de 30% de grãos ardidos”. Em Lucas do Rio Verde, a colheita teve rendimento de 49 sacas/hectare, ou seja, abaixo do esperado, ainda que superior a de Campo Novo dos Parecis. Possíveis explicações para este baixo rendimento da soja na safra 2005/2006, podem estar relacionados aos dados de precipitação obtidos “in loco”, junto aos agricultores.

Considerando o período da colheita das três quinzenas, especialmente a quinzena do EVI mínimo nos perfis na entressafra, as datas de colheita seriam do 02/02 a 21/03 em Lucas do Rio Verde e de 06/03 a 22/04 em Campo Novo do Parecis, é interessante comparar os rendimentos obtidos com a chuva precipitada na época. Os dados da ANA, infelizmente não puderam ser utilizados, pois não estavam disponíveis até o ano 2006 para esses municípios. Utilizaram-se, então os dados de pluviometria coletados durante entrevistas em duas fazendas de Lucas do Rio Verde e de Campo Novo do Parecis. Apesar destes dados não serem totalmente confiáveis, dada a precariedade dos instrumentos, os registros do número de dias chuvosos no período da colheita puderam confirmar que o problema foi de excesso de chuva. Em Lucas do Rio Verde choveu durante 22 dos 48 dias do período crítico de colheita, enquanto que, em Campo Novo do Parecis, o período chuvoso totalizou 32 dias, com o agravante de ter chovido 16 dias entre o dia 30/03 e o 17/04. Isto certamente comprometeu o final da colheita da soja tardia, como anunciou o IMEA.

4. Conclusões

O uso dos produtos MODIS de resolução espacial média e de resolução temporal alta, e mais especialmente o índice de vegetação EVI, permitiu efetuar um acompanhamento da safra de soja de forma eficiente. A partir da determinação de 6 atributos característicos dos perfis temporais de EVI das coberturas vegetais de soja, pastagem-cerrado e floresta, foi possível fazer uma classificação supervisionada a fim de localizar as áreas plantadas com soja. Uma análise dos perfis temporais de EVI em diferentes escalas espaciais disponibilizou informações sobre o calendário agrícola da cultura da soja no MT, as quais podem ser facilmente vinculadas aos dados climáticos. Assim, pelo fato de que as regiões da Chapada dos Parecis e de Sorriso apresentarem média de chuva anual maior do que as regiões leste e sudeste, a soja pode ser semeada mais cedo aproveitando assim o fim da estação chuvosa para plantar maior safrinha de milho ou de algodão. Na escala da propriedade rural, os perfis temporais de EVI demonstraram a estratégia dos produtores para limitar os efeitos negativos do clima, a qual consiste em semear a soja em ciclos diferentes e em datas variáveis a fim de distribuir a colheita em diferentes momentos. Finalmente, como os perfis dão indicações sobre as datas de plantio e de colheita, uma análise dos dados pluviométricos correspondentes a época de colheita podem dar indicações do rendimento final. Neste caso, é suposto que o número de dias de chuva representa um índice mais importante do que a quantidade de chuva acumulada.

Referências

- Almeida, I.R. de **O clima como fator de expansão da cultura da soja no Centro-Oeste**. 2005. 112 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista. 2005.
- Bertrand, J-P.; Pasquis, R.; Aparecida de Mello, N.; Bolzon, A.; Cadier, C.; Garcia Gasquez, J.; Le Tourneau, F.-M.; Mendez, P.; Piketty, M.-G.; Théry, H.; Wehrmann, M. **L'analyse des déterminants de l'avancée du front du soja en Amazonie brésilienne : le cas du Mato Grosso**. INRA – CIRAD. 2004. 238 p.
- Huete, A.; Justice, C.; Van Leeuwen W. **Modis vegetation index (MOD13) Algorithm theoretical basis document, version 3**. University of Arizona, 1999. 129 p.
- Jonathan, M. **Classificação do uso e cobertura do solo em escala regional a partir de sequências temporais de dados MODIS**. 2005. 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro. 2005.
- Jonathan, M.; Meirelles, M. S. P.; Berroir, J. P.; Herlin, I. Regional Scale Land Use / Land Cover Classification Using temporal Series of MODIS Data. In: ISPRS mid-term symposium, Remote Sensing : From pixel to process, ITC, Enschede, Netherland. 2006.
- Rizzi, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 2004. 216 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.
- Produção agrícola municipal (PAM)-IBGE. Disponível em:
< <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=PA&z=t&o=10>>. Acesso em: 15 outubro 2006.
- Agencia Nacional das Aguas. Disponível em:
< <http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 21 outubro 2006
- Agrolink. Disponível em :
<http://www.agrolink.com.br/eventos/pg_detalhe_noticia.asp?cod=39197>. Acesso em : 25 outubro 2006.
- Diario de Cuiaba. Disponível em :
<<http://www.diariodecuiaba.com.br/detalhe.php?cod=248368&edicao=11471&anterior=1>>. Acesso em: 25 outubro 2006
- Modis Data Products. Disponível em :
<<http://edcdaac.usgs.gov/modis/dataproducts.asp>>. Acesso em : 10 agosto 2006