

Extração de Séries Temporais de Imagens de Satélite para Monitoramento de Safras Agrícolas e de Dados Climáticos

Daniel Y. T. Chino¹, Luciana A. S. Romani^{1,2}, Agma J. M. Traina¹

¹Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – Universidade de São Paulo
Caixa Postal 668 – 13560-970 – São Carlos – SP – Brasil

²Embrapa Informática Agropecuária – Campinas – SP - Brasil

chinodyt@grad.icmc.usp.br {alvim|agma}@icmc.usp.br

Abstract. *This paper describes the SatImagExplorer system, which has been developed aimed at automatically generating time series from satellite image sequences. The specialist can define a region of interest to be analyzed and the system provides the time series of the region regarding a given index or measurement. New indexes and measurements can be designed and introduced to the system in order to provide fast creation of new time series and their analysis. The system is a valuable tool to aid agrometeorologist to evaluate a crop development and climate changes.*

Resumo. *Este artigo descreve o sistema SatImagExplorer, desenvolvido para a partir de imagens de satélite, gerar automaticamente séries temporais considerando índices e medidas especificadas. O usuário indica regiões de interesse que são utilizadas para a criação da série temporal. Muitas vezes o especialista deseja avaliar a eficácia de novos índices, mas não gostaria de pagar o preço de ter que reprocessar manualmente as imagens. O sistema permite que novos índices e medidas sejam facilmente adicionados, e as séries são geradas automática e rapidamente. Este sistema é uma ferramenta valiosa para auxiliar o agrometeorologista a analisar o desenvolvimento de lavouras em vista das mudanças de condições climáticas.*

1. Introdução

Uma das principais fontes de recursos do Brasil vem da produção agrícola. Desse modo, é muito importante tanto para o Governo brasileiro quanto para as empresas agrícolas monitorarem e analisarem o desempenho das safras agrícolas. Tal análise visa estabelecer mecanismos que permitam aprimorar o uso do solo à luz das condições climáticas para melhorar o ganho de produção das culturas e safras. Porém, com o agravamento das alterações climáticas, os especialistas em agrometeorologia têm observado que pode haver mudanças com relação à capacidade de produção agrícola. Tal cenário pode redundar em alterações da capacidade econômica de regiões, que atualmente são produtoras importantes. Desse modo, é vital que possam ser analisados os cenários de mudanças climáticas, tanto globais quanto regionais, para que decisões que amenizem os efeitos negativos desse processo sejam tomadas com antecedência.

Imagens e dados obtidos por sensoriamento remoto são fontes valiosas de informação para pesquisas em agricultura. Considerando países de dimensões territoriais, como o Brasil, imagens de satélite permitem que grandes extensões terrestres sejam monitoradas continuamente. Como há diversos tipos de satélite, com

periodicidade de captura e resolução espacial diferentes, é importante poder integrar as informações contidas nas imagens que envolvem a mesma região, de modo a garantir que as diferenças de informação coletadas possam ser efetivamente utilizadas para o benefício dos analistas e especialistas em agrometeorologia.

Este artigo apresenta a pesquisa de Iniciação Científica que está sendo desenvolvida para a construção do sistema *SatImagExplorer* que recebe como entrada imagens de satélite de diversas fontes, e calcula automaticamente índices e medidas de sequências de imagens, gerando séries temporais relativas a tais índices. Séries temporais provenientes de sensores remotos têm sido muito utilizadas para o monitoramento agrícola. Os especialistas utilizam essas séries para auxiliar na previsão de índices agrometeorológicos [Gonçalves, 2008], na estimativa de produtividade [Nascimento, 2009], análise de correlação entre essas séries e dados climáticos [Ávila, 2009] dentre outras. É importante ressaltar que o sistema *SatImagExplorer* permite que o especialista interaja com as imagens e especifique regiões de interesse (ROI - *Region of Interest*), em uma imagem da série. A seguir, o *SatImagExplorer* extrapola a indicação de região para todas as imagens da sequência gerando séries temporais das ROIs. Tal ferramenta permite que o especialista possa focar sua análise em pontos estratégicos e de interesse, além de facilitar a análise de longas séries de dados.

2. Conceitos e Trabalhos Relacionados

Há atualmente diversos satélites de alta (Ikonos, Quick-Bird e Eros), média (Landsat, Spot e CBERS) e baixa resolução (AVHRR/NOAA, MODIS e CBERS/WFI). Por exemplo, o NOAA tem resolução de 1 km quadrado de área por pixel¹.

O sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) tem sido utilizado largamente nos estudos de ecossistemas devido à disponibilidade de longas séries de dados, além de possuírem uma cobertura global e serem acessados gratuitamente. Os sensores AVHRR possuem canais no espectro visível e frequências no infravermelho próximo, a combinação desses canais pode ser utilizada para indicar a quantidade e o estado da vegetação, usualmente chamados de índices de vegetação. O uso de sensoriamento remoto nas pesquisas brasileiras tem crescido para o benefício do país, que possui um território de dimensões continentais. A cana-de-açúcar é um exemplo de cultura que pode ser monitorada por imagens de baixa resolução como as obtidas pelo satélite AVHRR/NOAA, pois são cultivadas em áreas grandes e próximas. Um dos índices mais utilizados é o índice de vegetação NDVI proposto por Rouse et al. em [Rouse, 1973], do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*.

Atualmente, a acessibilidade aos dados registrados por satélites está maior, como também existem tecnologias (hardware e software) mais apropriadas para a recepção, distribuição e manipulação dessas imagens. Entretanto, grande parte dessa tecnologia é de uso comercial e não são adequadas para o processamento de longas séries de imagens. Exemplos de softwares utilizados para manipulação de imagens provenientes do sensoriamento remoto são Erdas², Idrisi³, Spring⁴ e outros. Nesse contexto, foi desenvolvido o sistema NavPro [Esquerdo, 2006], que realiza o processamento de

¹ <http://satelite.cptec.inpe.br/home>

² <http://www.erdas.com/>

³ <http://www.clarklabs.org/>

⁴ <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>

imagens AVHRR/NOAA de acordo com os seguintes passos: conversão do formato de imagem bruto (sem correções) para um formato intermediário; calibração radiométrica e correções geométricas; mascaramento de nuvens e geração da Composição de Valor Máximo (do inglês, *Maximum Value Composite*) MVC das imagens NDVI.

O desenvolvimento do sistema NavPro permitiu ampliar o escopo das pesquisas envolvendo imagens AVHRR/NOAA multi-temporais. Contudo, o processo de extração, armazenamento e visualização de séries temporais dessas imagens é muito custoso para ser feito manualmente. Assim, este trabalho propõe um método que permite realizar essas tarefas automaticamente, permitindo uma melhor produção de resultados pelo especialista.

As séries temporais são construídas extraindo medidas ou realizando cálculos/índices sobre os dados de regiões de interesse das imagens que foram coletadas sequencialmente num determinado período de tempo. Isso permite que o especialista focalize sua atenção em regiões de análise específica. Essa funcionalidade era muito desejada pelos especialistas, porém não estava disponível nos sistemas utilizados atualmente, que são comerciais e de custo elevado, como o sistema ENVI⁵ (*The Environment for Visualizing Images*) cujo módulo IDL (*Interactive Data Language*) permite construir as séries temporais a partir da imagem. Porém, a geração da série é feita a cada imagem separadamente. O sistema desenvolvido que é apresentado neste trabalho manipula sequência de imagens automaticamente, extrapolando as informações de processamento da imagem principal para todas da sequência, tornando a manipulação do especialista muito mais ágil e eficiente.

As imagens AVHRR/NOAA utilizadas se encontram no formato de arquivo GeoTIFF⁶. O GeoTIFF é uma extensão do formato de imagens TIFF (*Tag Image File Format*) para imagens geoespaciais. Assim como o formato TIFF, o GeoTIFF permite que as imagens possuam além de informações sobre a imagem (dimensão, profundidade de cores, etc), informações geográficas/cartográficas e valores medidos pelos sensores presentes nos satélites. O formato também permite que as imagens possuam diversos canais de dados, o que torna possível a criação de imagens que apresentem dados no decorrer de um ano, por exemplo.

Essas imagens podem apresentar como dados, índices de vegetação, como por exemplo, o NDVI. O NDVI é amplamente utilizado para avaliação das mudanças do vigor vegetal da planta, estando relacionado com a capacidade fotossintética, ao nível de absorção de energia da planta. Pode ser calculado utilizando os valores medidos pelos satélites AVHRR/NOAA nos canais de espectro vermelho e infravermelho próximo. O NDVI pode ser calculado por meio da fórmula descrita abaixo:

$$NDVI = \frac{IVP - VER}{IVP + VER}$$

onde *VER* e *IVP* são, respectivamente, as medidas de reflectância espectral adquiridas nas regiões do vermelho e do infra-vermelho próximo.

O sistema *SatImagExplorer* foi desenvolvido utilizando plataformas livres e de código aberto permitindo contribuições para a melhoria de seus recursos. Foi utilizada a

⁵ <http://www.itvis.com/ProductServices/ENVI.aspx>

⁶ <http://trac.osgeo.org/geotiff>

linguagem C++, juntamente com a biblioteca de código aberto GDAL⁷ (*Geospatial Data Abstraction Library*) para a manipulação de imagens no formato GeoTIFF e para o desenvolvimento da interface gráfica foi utilizado o framework desenvolvido pela Trolltech ASA Qt⁸.

3. Sistema SatImagExplorer

O *SatImagExplorer* apresenta uma interface simples e intuitiva, na qual o especialista define com o *mouse* qualquer região poligonal que deseja indicar para análise. A arquitetura do sistema é modular, como é indicado na Figura 1.

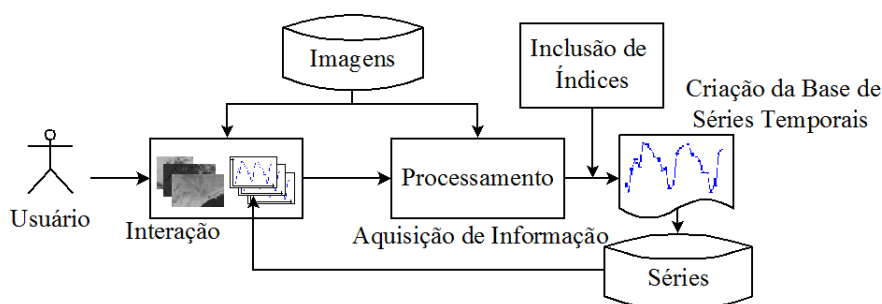


Figura 1. Arquitetura modular do *SatImagExplorer*.

3.1. Módulo de Interação

O usuário interage diretamente no sistema que é constituído por janelas e menus permitindo uma manipulação intuitiva e ágil. O usuário especifica os arquivos de imagens a serem lidos e especifica regiões de interesse a serem processadas.

Pode ser indicada a opção de especificação das regiões de interesse para a extração dos dados ou criação das séries temporais das imagens por meio de listas de coordenadas (latitude e longitude) e da leitura de arquivos texto. Desse modo, pode-se indicar com mais precisão regiões de interesse que se deseja analisar, como por exemplo, locais exatos onde há cultivo de cana-de-açúcar.

3.2. Módulo de Processamento

Após receber a indicação da região de interesse especificada pelo usuário e que será extrapolada para todas as imagens da sequência para a geração da série temporal, o *SatImagExplorer* calcula as medidas ou índices especificados pelo usuário sobre todas as imagens da sequência indicada. Desse modo, são obtidas séries temporais correspondendo ao índice calculado segundo a indicação de tempo da imagem capturada pelo satélite. As séries temporais são armazenadas em um arquivo de dados permitindo que o especialista de domínio os utilize de forma adequada para um processamento posterior. O usuário pode então manipular imagens e séries temporais delas extraídas visando adquirir o conhecimento que o auxilie em processos de análise do comportamento das regiões, por exemplo, como os índices e medidas afetam uns aos outros, apoiando-o no processo de tomada de decisões.

⁷ <http://gdal.org/>

⁸ <http://qt.nokia.com/>

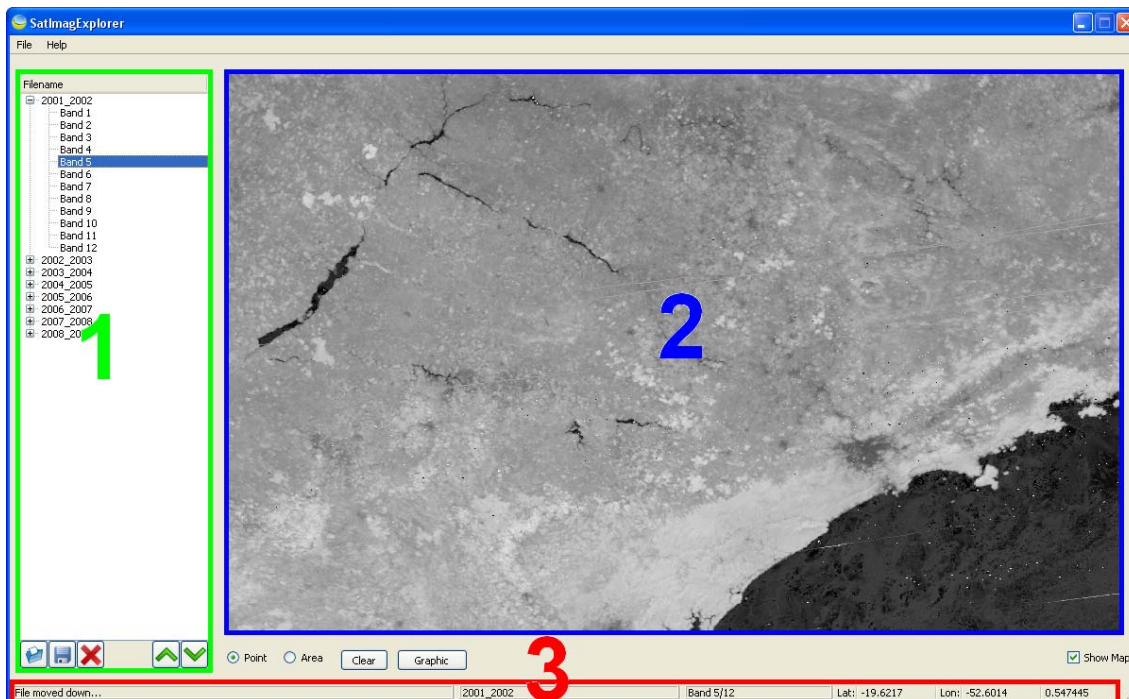
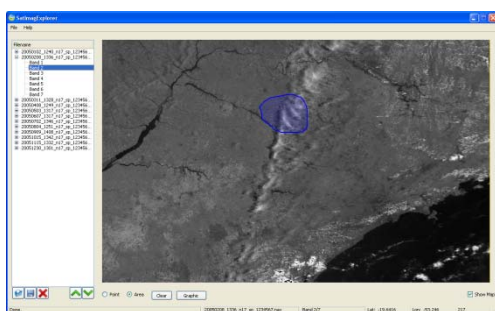
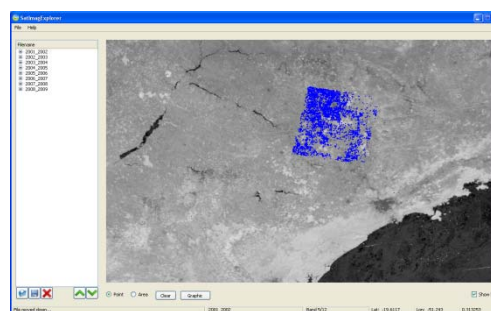


Figura 2. Interface do SatMagExplorer, onde em 1 é exibida a lista de imagens, em 2 a imagem é apresentada e em 3 são exibidas informações da imagem.

O Sistema *SatMagExplorer* permite abrir ao mesmo tempo várias imagens de satélites no formato *GeoTIFF* que já passaram por um processo de tratamento (correções geométricas, mascaramento de nuvens, etc). O *SatMagExplorer* abre imagens brutas do satélite AVHRR/NOAA, imagens NDVI, temperatura de superfície e do satélite Goes que são imagens de baixa e média resolução. A Figura 2 apresenta uma tela do sistema em operação. Após abertas, essas imagens serão exibidas na lista localizada a esquerda da tela, podendo-se selecionar qual imagem será exibida à direita da tela. Em sua parte inferior são exibidas informações como coordenadas de latitude e longitude de um dado ponto indicado pela posição do *mouse*, e seu respectivo valor.



(a) Seleção pelo mouse



(b) Seleção por arquivo de coordenadas

Figura 3. Imagens de áreas selecionadas pelo usuário.

A Figura 3(a) exibe uma área selecionada pelo usuário por meio do *mouse*, já na Figura 3(b) a área marcada foi selecionada por meio de um arquivo de coordenadas definidas pelo usuário. No exemplo da Figura 3(b), a área demarcada representa algumas regiões onde ocorre o plantio de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

3.3. Extração de Índices e Medidas Consolidadas das Imagens - NDVI

Selecionadas as coordenadas desejadas das imagens, os dados estão prontos para serem extraídos, o que será feito sobre as matrizes de pixels das bandas indicadas. Mas antes, o usuário pode optar por visualizar o comportamento da série temporal gerada na região selecionada no conjunto de imagens abertas por meio de um gráfico. No eixo das abscissas está representada a escala de tempo e no eixo das ordenadas os valores dos índices utilizados. Quando é selecionada uma área, esse gráfico exibe os valores para todas as coordenadas selecionadas, representadas por linhas em cinza e os valores médios da região são representados pela linha contínua em azul conforme é exemplificado na Figura 4.

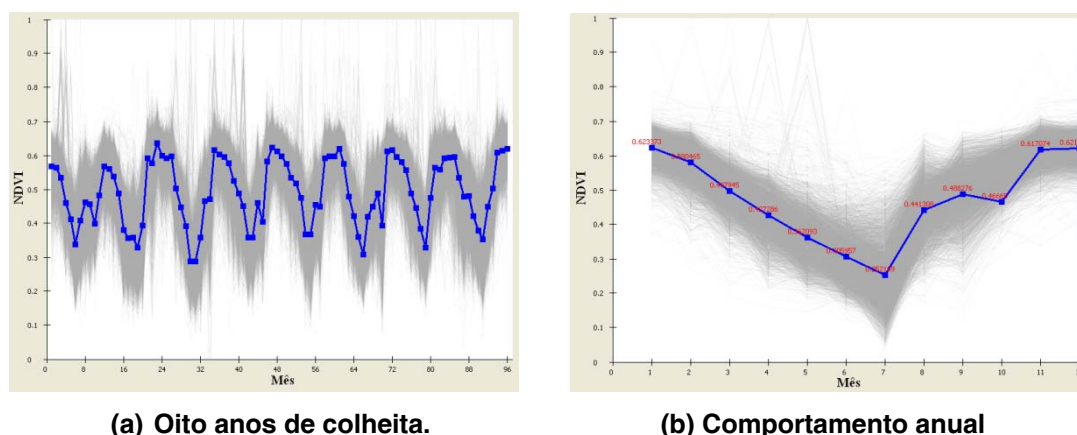


Figura 4. Séries temporais de NDVI exibidas para a região de cana-de-açúcar.

As Figuras 4(a) e 4(b) mostram os gráficos das séries temporais de uma mesma região. Em ambas as figuras, o eixo das abscissas representa o tempo medido em meses e o eixo das ordenadas indica valores de NDVI. Como pode ser visto na Figura 4(a), existem sequências de imagens que correspondem a oito anos de colheita de cana-de-açúcar (abril de 2001 a março de 2009), gerando uma grande quantidade de dados que torna a extração manual dos índices muito custosa. Isso indica a importância de um sistema capaz de manipular imagens de satélites multi-temporais de modo automático.

A Figura 4(b) mostra o comportamento anual da cultura de cana-de-açúcar. Os valores de NDVI começam a crescer entre os meses de outubro e novembro com o início da temporada de chuva até alcançar seu pico no mês de março. A colheita da cana-de-açúcar começa a partir do mês de abril e a partir de então os valores de NDVI caem gradativamente até alcançarem os valores iniciais do começo do ciclo.

Este tipo de análise pode auxiliar sistemas regionais de previsão de safras, pois podem ser utilizados para confirmar, dentro de determinada precisão, o início e fim do ciclo de crescimento da lavoura em alguns pontos ou regiões pré-determinados. Por meio de ambos os gráficos, pode-se notar também que grande parte das coordenadas medidas estão próximas dos valores médios, porém existem coordenadas que estão muito afastadas. As coordenadas que extrapolam a faixa de valor podem significar erros provocados por ruídos nas medidas ou também regiões onde na realidade não existe o cultivo de cana-de-açúcar.

3.4. Inclusão de Novos Índices

Outra característica presente no sistema desenvolvido é a possibilidade do usuário calcular índices que são obtidos por meio de fórmulas matemáticas, já desenvolvidas ou em elaboração/experimentação pelos especialistas, utilizando os canais presentes em uma imagem. As fórmulas são calculadas em tempo de execução, podendo ser mudadas de acordo com a vontade do especialista. Por precauções de erro de digitação ou má formação, as fórmulas são validadas de acordo com as produções gramaticais descritas na Figura 5 na forma Normal de Backus-Naur estendida.

```

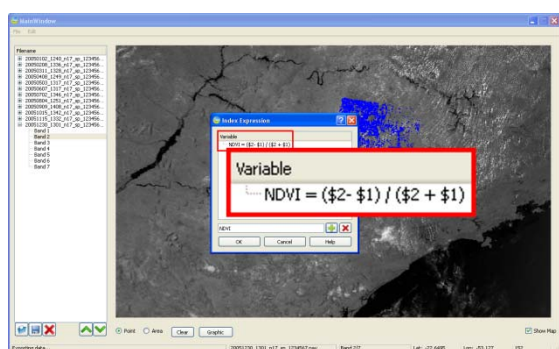
<exp> ::= <termo> { <op_1> <termo> }
<termo> ::= <fator> { <op_2> <fator> }
<fator> ::= número | banda | variável
           | <op_un> ( <fator> ) | ( <exp> )
<op_1> ::= + | -
<op_2> ::= * | / | ^
<op_un> ::= sin | cos | exp | log | sqrt

```

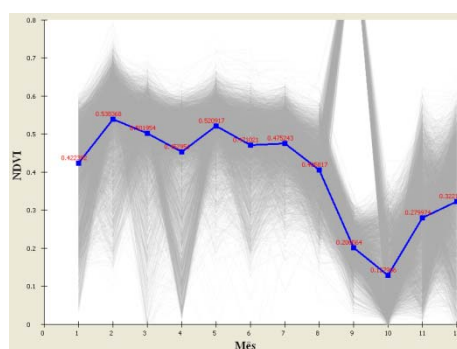
Figura 5. Produção das gramáticas das fórmulas do cálculo de índices.

Assim, é possível que o usuário trabalhe diretamente com imagens com características de geração diferentes. Por exemplo, para as imagens AVHRR/NOAA que apresentam um canal no espectro vermelho e também um no espectro do infravermelho próximo, é possível calcular o NDVI conforme detalhado na Seção 2, bem como calcular outros índices de interesse para o especialista.

Deve-se ressaltar que dessa forma, evita-se pré-processar a imagem para que ela contenha um índice que talvez não seja utilizado no futuro para sua análise. A possibilidade de incluir novos índices e medidas traz flexibilidade ao processo de análise e compreensão do comportamento de regiões de interesse em um período de tempo específico, tornando a ferramenta bastante poderosa para auxiliar a compreensão de fenômenos e apoiar a tomada de decisões.



(a) Definição da fórmula pelo usuário



(b) NDVI retirado diretamente

Figura 6. Entrada de fórmulas arbitrárias de índices.

A Figura 6(a) apresenta a definição da relação de NDVI feita pelo usuário a um conjunto de imagens "brutas" AVHRR/NOAA para regiões de cultivo de cana-de-açúcar, já a Figura 6(b) mostra o comportamento do NDVI no conjunto de imagens correspondentes a janeiro a dezembro de 2005. A expressão é indicada pelo usuário por meio de notação convencional, diretamente no formulário de entrada da interface.

Outra medida que pode ser utilizada é o Albedo, que é a razão ou quociente entre a quantidade de radiação refletida pela superfície da Terra (incluindo a atmosfera) e a radiação total incidente (proveniente do Sol) em uma dada temperatura. Superfícies de areia e de neve possuem altas taxas de albedo enquanto que florestas possuem baixas taxas de albedo [Song e Gao, 1999]. Dado pelas fórmulas:

$$\text{Albedo} = p_1 \cdot \text{VER} + p_2 \cdot \text{IVP}$$

Onde

$$p_1 = 0,494 \cdot \text{NDVI}^2 - 0,329 \cdot \text{NDVI} + 0,372 \text{ e } p_2 = -1,439 \cdot \text{NDVI}^2 - 1,209 \cdot \text{NDVI} + 0,587$$

4. Conclusões

Este artigo apresentou o sistema *SatImagExplorer* que está sendo desenvolvido para processar imagens heterogêneas, ou seja, de diversos tipos de satélite. O *SatImagExplorer* gera a série temporal segundo a medida especificada ou projetada pelo especialista.

Diferentemente de sistemas anteriores que manipulam as imagens separadamente, no *SatImagExplorer* a especificação indicada pelo usuário é extrapolada para todas as imagens da sequência, o que torna o processamento das séries ágil e eficiente. Desse modo, o especialista tem o material que precisa para analisar mudanças relevantes nas regiões indicadas, permitindo-lhe realizar análises mais abrangentes e rapidamente. Além disso, o especialista pode elaborar e simular novas medidas, permitindo-lhe perceber alterações de clima e no desenvolvimento das culturas de um modo rápido e eficiente. Segundo os especialistas essa é uma característica muito importante para o desenvolvimento de suas pesquisas.

5. Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio do CNPq, da FAPESP e Microsoft Research.

6. Referências Bibliográficas

- Avila, A. M. H. de ; Gonçalves, R. R. do V. ; Pinto, H. S.; Zullo Jr, J.; Relação entre a precipitação e o NDVI em imagens AVHRR/NOAA para a cana-de-açúcar,. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009. p.1-5.
- Esquerdo, J. C. D. M., Antunes, J. F. G., et al. An Automatic System For AVHRR Land Surface Product Generation. *Internacional Journal of Remote Sensing*, V.27, N.18, P.3925-3942. 2006.
- Gonçalves, R. R. V. ; Zullo Jr, J. . Relação entre a resposta espectral da cana-de-açúcar, registrada em série temporal de imagens do satélite AVHRR/NOAA, e condições agroclimáticas descritas pelo índice ISNA. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 16, p. 189-197, 2008.
- Nascimento, C. R. ; Gonçalves, R. R. V. ; Zullo Jr, J. ; Romani, L. A. S. . Estimation of sugar cane productivity using a time series of AVHRR/NOAA-17 images and a phenology-spectral model. In: *Multitemp 2009 - International Workshop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images*, 5, Groton, Connecticut, 2009. p. 365-372.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring Vegetation Systems in The Great Plains With ERTS. In: *Proceedings of the Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, 3., Washington, D. C., 1973. pages 309-317. (NASA SP-351).
- Song, J.; Gao, W. An Improved Method To Derive Surface Albedo From Narrowband AVHRR Satellite Data: Narrowband To Broadband Conversion. *Journal of Applied Meteorology*, 38: 239-249, 1999.