

## **Análise preliminar dos impactos da introdução da cultura da cana-de-açúcar no albedo da superfície no Pantanal Mato-grossense a partir de imagens do Landsat-5**

Guilherme Augusto Verola Mataveli<sup>1</sup>  
Elisabete Caria Moraes<sup>1</sup>  
Gabriel Pereira<sup>1</sup>  
Francielle da Silva Cardozo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515  
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{mataveli, bete, gabriel, cardozo}@dsr.inpe.br

**Resumo.** A produção da cana-de-açúcar possui uma dinâmica de expansão acelerada, principalmente devido ao crescimento da produção de etanol; apesar disso, os impactos causados por essa expansão no albedo precisam ser entendidos de uma maneira mais profunda. Um dos vetores atuais de expansão da cana-de-açúcar é o Pantanal, sendo que já é possível identificar em algumas áreas pertencentes a esse bioma e no seu entorno áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Para avaliar essa mudança, a análise comparativa de dados multitemporais permite verificar quais os impactos causados pela introdução da cultura da cana-de-açúcar sobre o albedo. O objetivo do presente trabalho é avaliar os impactos da introdução da cultura da cana-de-açúcar no albedo na área de estudo utilizando a metodologia de Liang (2000). A variação no albedo encontrada entre as datas abordadas foi significativa, sendo que as maiores diferenças corresponderam a áreas onde a cobertura vegetal original foi transformada em área antropizada, destinadas principalmente às atividades agrícolas.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, albedo, cana-de-açúcar.

**Abstract.** Sugarcane has an accelerated dynamic expansion associated typically with ethanol production; however, the impacts caused by this expansion over albedo need a better knowledge. One of the current expansion areas of sugarcane is the Pantanal, and it is possible to identify some areas belonging to the biome and its surrounding areas with this cultivation. To evaluate these changes, comparative analysis of multitemporal data allows verifying the impacts caused by the introduction of sugar cane over albedo. The objective of the present work is to estimate the impacts of introducing sugarcane crop over albedo in the study area using the methodology of Liang (2000). The variation found in albedo between the dates discussed were significant, with the largest difference corresponded to areas where the original vegetation has been transformed into anthropized areas, mainly for agricultural activities.

**Key-words:** remote sensing, albedo, sugar cane.

## 1. Introdução

Atualmente, as mudanças do meio ambiente em nível global são algumas das principais preocupações da humanidade; é reconhecido pela comunidade científica há muito tempo que as atividades antrópicas, ligadas às mudanças no uso e cobertura da terra, afetam de maneira direta os sistemas terrestre e atmosférico (Liu et al., 2008).

O uso e a cobertura da terra são um reflexo das atividades econômicas desenvolvidas pela sociedade. A atividade agrícola é fortemente influenciada por essa situação, e afeta diretamente alguns fatores como a qualidade da água, do ar, do solo e de outros recursos naturais (Pereira et al., 2006). O dinâmico processo de substituição do ambiente natural causado pelas mudanças no uso da terra produz modificações significativas nas interações físico-químicas e biológicas dos alvos com a radiação eletromagnética (Pereira et al., 2009).

O albedo, um dos fatores influenciados por essas mudanças, pode ser definido como a relação entre a quantidade de radiação solar refletida pela superfície terrestre e a quantidade que chega a ela, integrada em todo o espectro solar, e sua alteração afeta de maneira direta os regimes radiativos e, conseqüentemente, implica em mudanças no clima regional (Pereira et al., 2000).

As mudanças no albedo podem ser ocasionadas por diversos fatores, como mudanças de iluminação solar e crescimento da vegetação, contudo, o principal fator que altera o albedo é a mudança do uso e cobertura da terra, causada geralmente por atividades antrópicas (He et al., 2012). A alteração do albedo modifica as relações de absorção da radiação eletromagnética e transforma de maneira direta o balanço de radiação, os fluxos de calor latente e sensível e o regime de ventos e de chuvas, culminando na alteração das condições do clima da região (Pereira et al., 2009).

Um dos exemplos das conseqüências da alteração do albedo pode ser visto nas regiões semiáridas, onde o aumento do albedo causa a perda de energia absorvida pela superfície e, logo, a diminuição da precipitação, podendo diminuir também a evaporação; situações similares causadas pelo aumento do albedo também foram encontradas na África Tropical e na Bacia Amazônica (Liang, 2000).

O Brasil é um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários, sendo o maior produtor de cana-de-açúcar e maior exportador de açúcar e álcool do mundo (Aguiar et al., 2007). A crescente demanda de etanol produzido a partir da cana-de-açúcar, especialmente depois do ano de 2003 com a popularização dos carros bicompostíveis no Brasil, causou uma rápida expansão dessa cultura durante os últimos anos (Rudorff et al., 2010).

Para detectar alterações no albedo, o sensoriamento remoto dispõe de um conjunto de técnicas que permite identificar essas mudanças ao longo do tempo e estabelecer padrões que indicam como essas mudanças ocorrem e quais suas consequências; o sensoriamento remoto é a única maneira de mensurar as alterações no albedo em nível regional e global (Tchuenté et al., 2011).

## 2. Objetivos

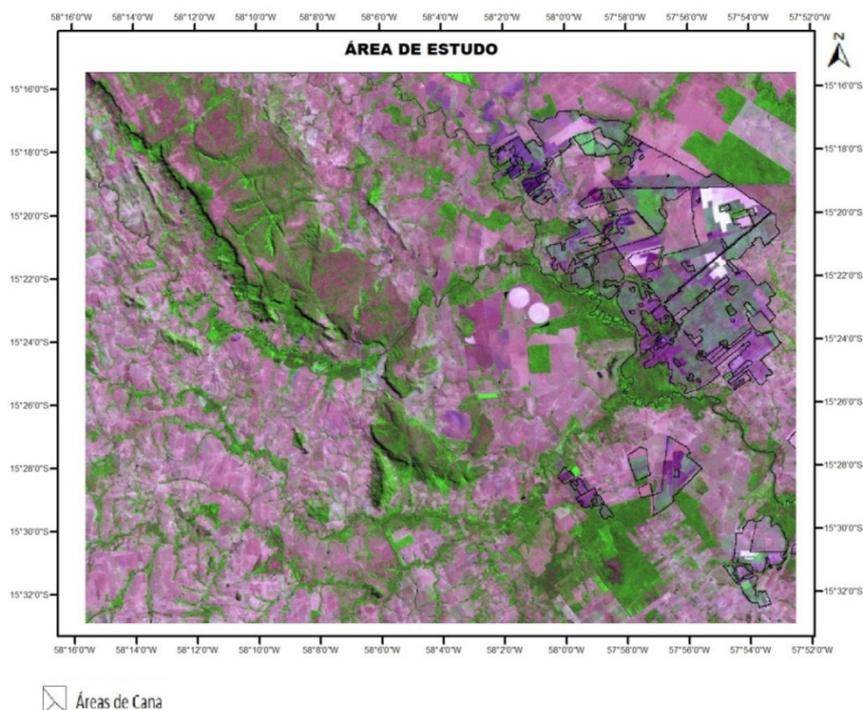
Os objetivos do presente trabalho consistem na estimativa do albedo da superfície para a área de estudo na ausência de cana-de-açúcar (ano de 1991) e presença de cana-de-açúcar (ano de 2011) e na construção de mapas de diferença a partir da álgebra de mapas a fim de apresentar as alterações no albedo provenientes da introdução da cultura de cana-de-açúcar utilizando imagens de sensor orbital e técnicas de Geoprocessamento.

## 3. Material e Métodos

### 3.1. Descrição da área de estudo e dados

A área de estudo corresponde a uma região do município de Lambari D'Oeste no Estado de Mato Grosso onde já se nota algumas áreas de cultivo de cana na safra 2011.

Como pode ser observado na **Figura 1**, a área de estudo é definida pelo retângulo envolvente compreendido pelas coordenadas 15°15'35"S; 58°15'30"W e 15°32'43"S; 57°52'55"W.



**Figura 1.** Área de estudo nas proximidades de Lambari D'Oeste, MT (Imagem TM/LANDSAT-5, composição 3B4G5R do dia 25.07.2011).

Para a estimativa do albedo, foram utilizadas duas imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do Satélite Landsat-5 de épocas diferentes, uma do mês de julho de 1991 (correspondente à ausência de cana) e outra do mês de julho de 2011 (correspondente à presença de cana). Também foram utilizados os dados do projeto CANASAT a fim de delimitar as áreas do cultivo de cana.

### 3.2 Metodologia

As etapas descritas a seguir foram realizadas no Sistema de Informações Georreferenciadas - SPRING (Câmara et. al., 1996), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A metodologia escolhida para estimar o albedo foi a proposta por Liang (2000), que obteve para diferentes sensores como, por exemplo, o AVHRR, TM, MODIS e ETM+, equações de transformação da reflectância de diferentes bandas espectrais em albedo da superfície, reflectância no visível e reflectância no infravermelho próximo e médio (NIR e SWIR, respectivamente). Os coeficientes existentes nessas fórmulas foram ajustados e validados por Pereira et al. (2006), e são descritos nas **Equações 1, 2 e 3**:

$$\text{Albedo} = 0,420\alpha_1 + 0,153\alpha_3 + 0,440\alpha_4 + 0,100\alpha_5 + 0,084\alpha_7 - 0,0018 \quad (1)$$

$$\text{Reflectância}_{\text{visível}} = 0,564\alpha_1 + 0,417\alpha_2 + 0,306\alpha_3 \quad (2)$$

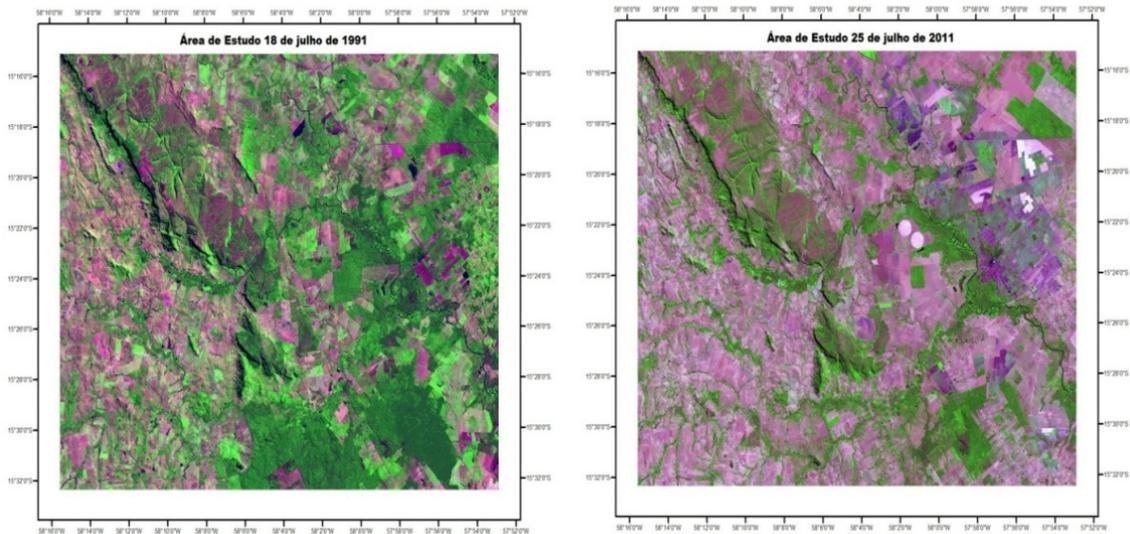
$$\text{Reflectância}_{\text{NIR}} = 0,755\alpha_4 + 0,231\alpha_5 + 0,126\alpha_7 - 0,003 \quad (3)$$

No caso em questão, a utilização desta formulação foi feita após a conversão do número digital de cada elemento da imagem em valores de reflectância da superfície para cada banda do sensor TM do Landsat. Como modelo de correção atmosférica foi escolhido o modelo Segunda Simulação de Sinais de Satélites no Espectro Solar (6S) (Vermote, 1997), sendo que foram adotadas como condições iniciais a visibilidade de 70 quilômetros, a atmosfera tropical e o modelo de aerossóis continental.

A operação utilizada para a construção dos mapas de diferença consistiu em uma operação algébrica simples entre Geocampos, aplicada em Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL). O uso de técnicas de Geoprocessamento e da metodologia aplicada possibilitou estimar o albedo de uma forma eficiente, sendo passível a utilização das mesmas para outras áreas pertencentes ao Pantanal ou qualquer outro bioma.

### 4. Resultados e Discussão

A **Figura 2** mostra a área de estudo para o dia 18 de julho de 1991 e 25 de julho de 2011. Nestas imagens é possível notar a grande modificação ocorrida em um período de 20 anos, principalmente em relação às atividades antrópicas, a partir do desmatamento da região e da inserção de áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Sendo assim, os resultados obtidos para as duas imagens foi significativamente distinto, em que as maiores diferenças nos valores do albedo e da reflectância no visível e no infravermelho próximo e médio foram encontradas em áreas onde a cobertura vegetal original foi transformada em área antropizada, destinadas principalmente às atividades agrícolas.



**Figura 2.** Composição 3B4G5R da área de estudo referente aos anos de 1991 e 2011.

A área de estudo é constituída de diversas formações vegetais, que compõem a paisagem pantaneira. Entre as principais coberturas da superfície nesta região, destacam-se a savana, savana estépica, floresta estacional decidual e semi-decidual, entre outras. Desta forma, as **Figuras 3 e 4** apresentam as estimativas do albedo e da reflectância nas faixas do NIR+SWIR e do visível para os dias 18 de julho de 1991 e 25 de julho de 2011 respectivamente. Nas figuras abaixo, percebe-se que os alvos possuem comportamentos espectrais diferenciados, pois a radiação eletromagnética (REM) ao interagir com os mesmos podem sofrer processos de reflexão, absorção e transmissão de acordo com as propriedades físico-químicas e biológicas destes; sendo assim sua aparência nas imagens apresentam resultados diversificados (Steffen et al., 1996).

Composto basicamente por formações vegetais, estas irão influenciar significativamente o sinal captado pelos sensores orbitais. De um modo geral, na reflectância espectral da vegetação podem-se citar três fatores dominantes: a) Pigmentos da folha; b) estrutura celular; e c) conteúdo de água (Ponzoni e Shimabukuro, 2007). Os pigmentos encontrados nas folhas (clorofila, carotenóide, xantofilas) atuam como absorvedores da radiação eletromagnética na região espectral do visível (radiação fotossinteticamente ativa). Algumas componentes das folhas são praticamente transparentes à radiação eletromagnética na região do infravermelho próximo como, por exemplo, a epiderme e a cutícula. Entretanto, ao incidir nas células do mesófilo esponjoso e nas cavidades de ar presentes no interior da folha, a REM sofre múltiplos espalhamentos e refração (devido à diferença de meios), aumentando, desta forma, a reflectância nesta faixa espectral. Ainda, na região espectral do infravermelho médio a resposta espectral é dominada principalmente pela absorção de REM das moléculas de água, sendo evidentes bandas de absorção próximas à 1400 nm, 1900nm e 2500nm.

O solo exposto, representado por áreas onde a cana já havia sido colhida em 2011 e áreas de outras culturas que também já haviam sido colhidas, apresentou valores elevados para o albedo e para as reflectâncias nas faixas do espectro eletromagnético (EEM) referente ao visível e infravermelho nas faixas do NIR+SWIR quando comparados com os demais alvos. Para o solo exposto, os valores obtidos dependem da interação da REM com os atributos do solo, tais como o material de origem, a matéria orgânica, os óxidos de ferro, a mineralogia e a granulometria (Demattê e Garcia, 1999).

A **Figura 3** mostra que as áreas que foram substituídas por cana-de-açúcar no ano de 1991 apresentaram valores próximos a 0,09 para o albedo, 0,16 para a reflectância no NIR e 0,02 para a reflectância no visível. Em 2011 (**Figura 4**), com a substituição da formação original pela cultura de cana, os valores aumentam significativamente, passando para aproximadamente 0,19 para o albedo, 0,22 para a reflectância no NIR e 0,05 para a reflectância no visível. Entre as causas desta variação, identifica-se a substituição de áreas de gramíneas e florestas por solo exposto, decorrente da colheita. Ainda, percebe-se a influência da palhada na composição do sinal captado pelo sensor. A palhada origina uma alta reflectância em todo o espectro eletromagnético, aumentando os valores de albedo de ondas curtas, reflectância no visível e no NIR e SWIR.

Consequentemente, levando em consideração as áreas de cultivo de cana, as áreas em tons de vermelho na **Figura 5** representam áreas de cana-de-açúcar que foram submetidas ao processo de queima da palhada e áreas de solo exposto decorrentes da colheita da cana. A queimada causa alterações na resposta espectral dos alvos e, conseqüentemente, modifica o albedo. As áreas de cana-de-açúcar que são queimadas para o início da colheita reduzem significativamente o albedo, já que a fuligem e o solo exposto mais escuro absorvem a energia eletromagnética (Pereira et al., 2009).

A alteração nos valores de albedo e reflectância, mesmo que sem influência antrópica, modifica o balanço de energia na superfície e os fluxos de calor latente e sensível em nível regional. O balanço de energia é diretamente dependente do albedo e da temperatura da superfície. Considerando um modelo simples de balanço, assumindo que a radiação eletromagnética é transparente aos gases atmosféricos, que a atmosfera de uma camada atua como um corpo negro e que a irradiância espectral seja a mesma para ambos os períodos, a variação do albedo em 10% pode ocasionar um acréscimo de aproximadamente 8°C na temperatura de equilíbrio da superfície terrestre. (Cardozo et al., 2009).

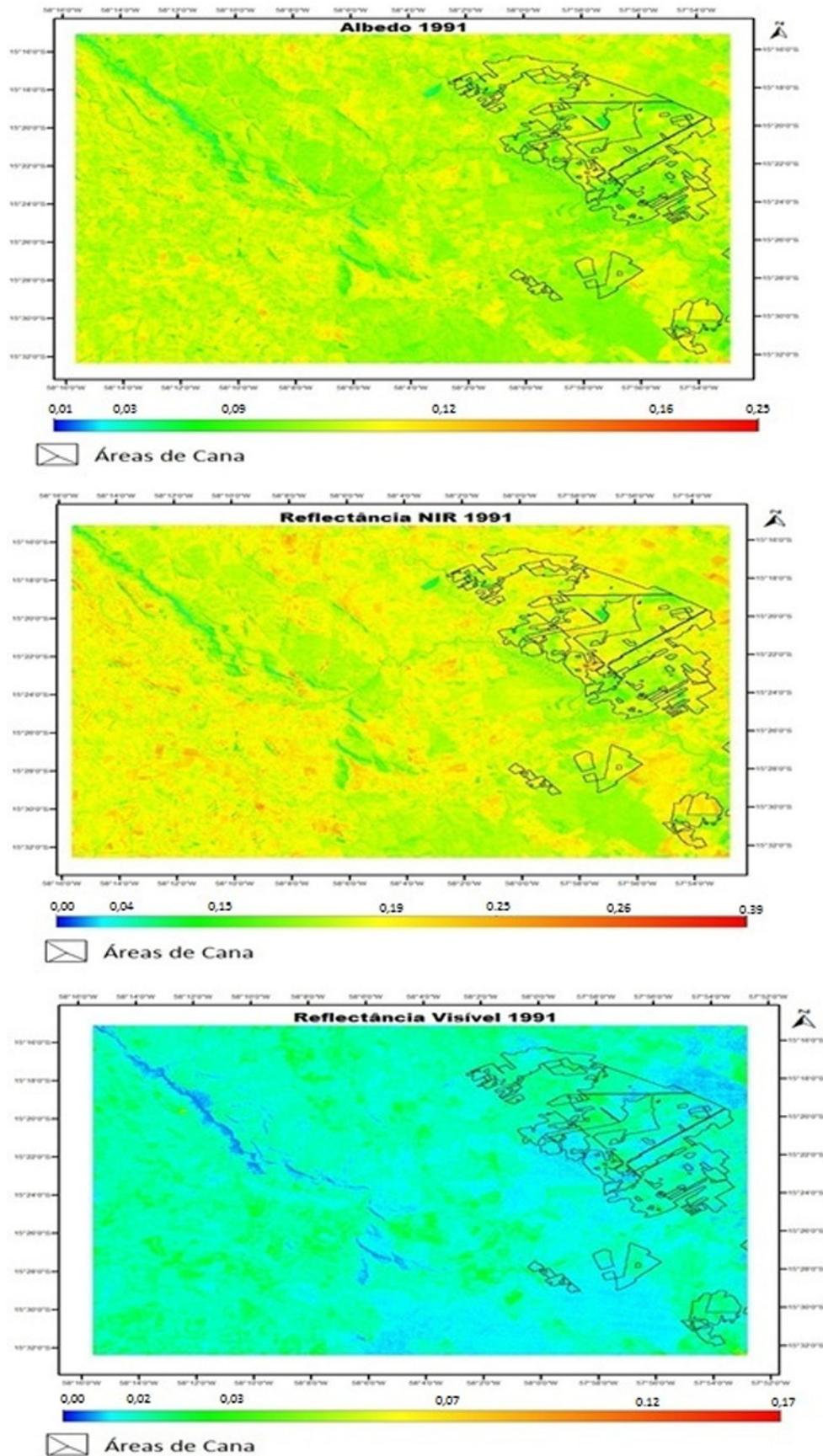
## 5. Conclusões

O método proposto por Liang (2000) se mostrou eficiente na estimativa dos valores de albedo, reflectância no NIR e reflectância no visível, uma vez que foi possível fazer uma relação direta entre as mudanças no uso da terra observadas na interpretação visual das imagens e as variações do albedo. Ainda assim, é necessário realizar validações em campo a fim de se obter estimativas mais precisas.

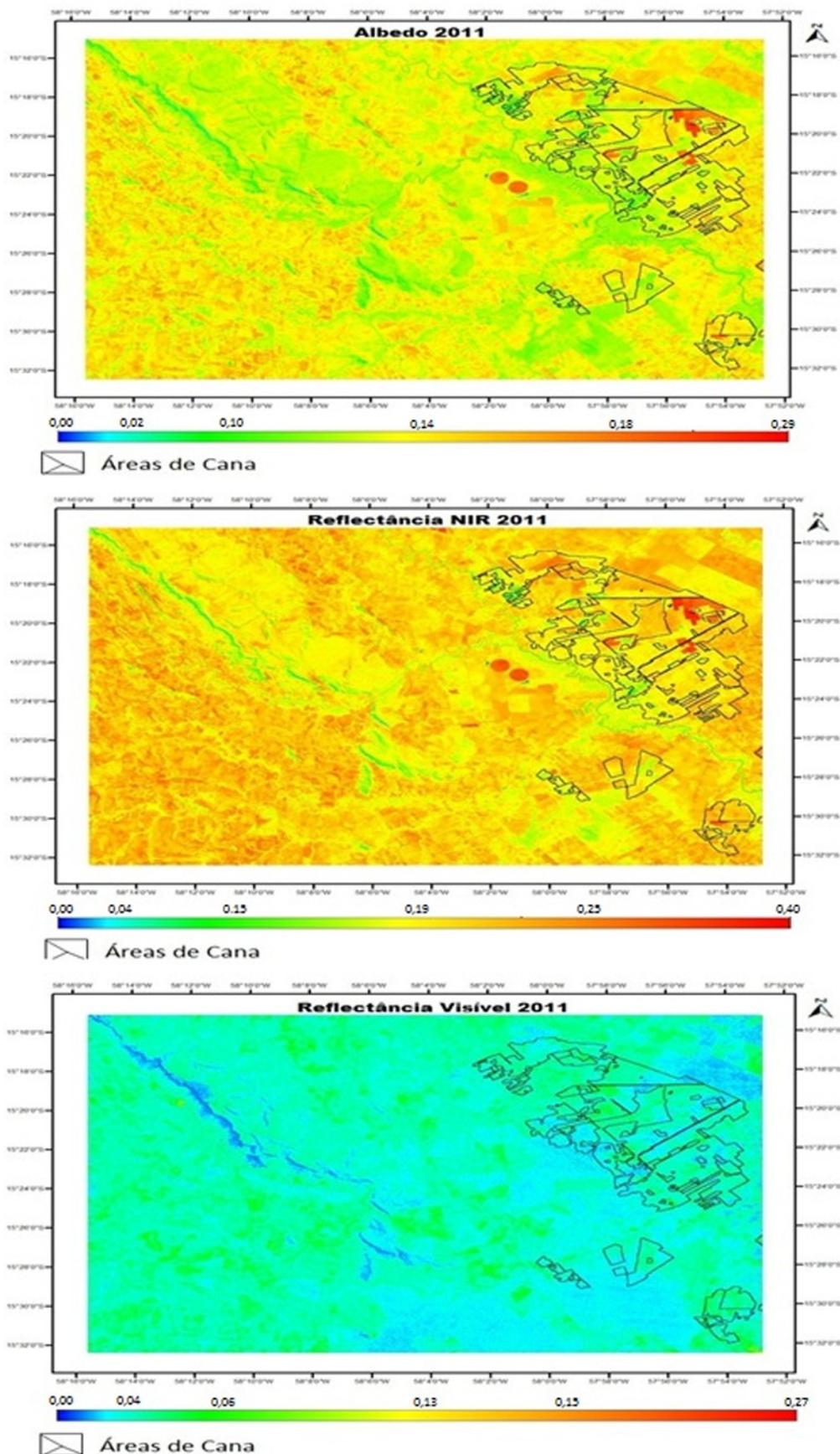
A variação do albedo e da reflectância durante o período do estudo foi significativa, sendo que as maiores diferenças encontradas em áreas onde a cobertura vegetal original foi substituída pela atividade agrícola, como é o caso da cana-de-açúcar.

A queima da palhada como um método para facilitar a colheita da cana-de-açúcar é um fator que tem relação direta com as modificações no albedo, uma vez que altera a resposta espectral dos alvos. Desta forma, é necessário realizar estudos mais aprofundados a fim de compreender os impactos ocasionados pela transformação da cobertura vegetal natural em culturas de cana-de-açúcar, tanto sobre a atmosfera quanto sobre a biosfera.

Por fim, deve-se ainda dizer que são necessárias análises mais prolongadas sobre os impactos da inserção da cana-de-açúcar no Pantanal e no seu entorno, já que esta prática é recente e os cultivos encontrados ainda são de pequeno porte, quando comparados com grandes produtores como o Estado de São Paulo.



**Figura 3.** Estimativa do albedo, da reflectância no NIR e da reflectância no visível para 18 de julho de 1991.



**Figura 4.** Estimativa do albedo, da reflectância no NIR e da reflectância no visível para 25 de julho de 2011.

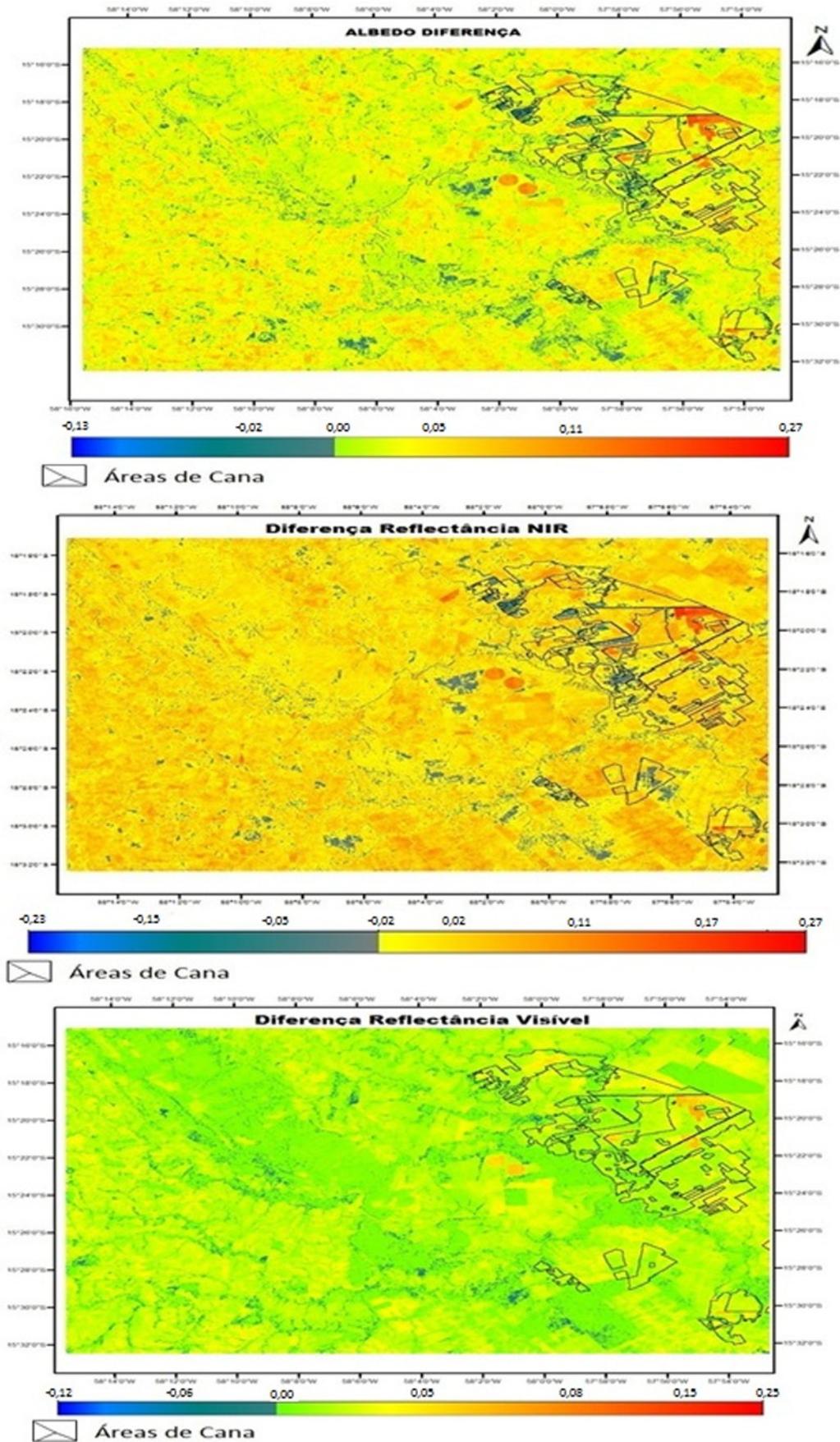


Figura 5. Mapas de Diferença do albedo, reflectância NIR e visível entre as datas abordadas.

## 6. Referências

- Aguiar, D.A.; Silva, W. F.; Feitosa, F. F.; Gonçalves, F. G.; Rizzi, R.; Rudorff, B. F. T. Análise espacial da colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: a influência da precipitação. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2007. p. 2231-2238. Disponível na biblioteca digital URLib: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2006/11.15.15.48/doc/2231-2238.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2012.
- Câmara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS by Object-Oriented Data Modelling. **Computer & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403. 1996.
- Canasat: mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra. São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/index.html> > Acesso em: 26 de junho de 2012.
- Cardozo, F. S.; Pereira, G.; Silva, F. B.; Shimabukuro, Y. E.; Moraes, E. C. Análise da estimativa da refletância e albedo em áreas alagadas do Pantanal. In: Simpósio de Geotecnologias do Pantanal, 2., 2009, Corumbá. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2009. p. 392-401. Disponível na biblioteca digital URLib: <<http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2009/12.11.16.44/doc/p138.pdf>> Acesso em: 26 de junho de 2012.
- Demattê, J. A. M.; Garcia, G. J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.327-342, 1999.
- He, T.; Liang, S.; Wang, D.; Wu, H.; Yu, Y.; Wang, J. Estimation of surface albedo and directional reflectance from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) observations. **Remote Sensing of Environment**, v. 119, n. 1, p. 286-300, 2012.
- Liang, S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, n. 1. p. 213-238, 2000.
- Liu, R.; Liang, S.; He, H.; Liu, J.; Zheng, T. Mapping incident photosynthetically active radiation from MODIS data over China. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 3, p. 998-1009, 2008.
- Pereira, E.B., Martins, F.R., Abreu, S.L., Couto, P., Stuhlmann, R.; Colle, S. Effects of burning of biomass on satellite estimations of solar irradiation in Brazil. **Solar Energy**, v. 68, n. 1, p. 91-107, 2000.
- Pereira, G.; Moraes, E. C.; Arai, E.; Oliveira, L. G. L. Estudo preliminar da estimativa da refletância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. In: Simpósio de Geotecnologias do Pantanal, 1., 2006, Campo Grande. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2006. p. 901-911. Disponível na biblioteca digital URLib: <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm17%4080/2006/12.08.13.50/doc/p122.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2012.
- Pereira, G.; Moraes, E. C.; Arai, E.; Oliveira, L. G. L.; Ferreira, N. J Estimativas de alterações do albedo de superfície e da emissão de gases do efeito estufa em áreas queimadas inferidas através de imagens Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2007. p. 4527-4534. Disponível na biblioteca digital URLib: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.17.23.57/doc/4527-4534.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2012.
- Pereira, G.; Cardozo, F. S.; Moraes, E. C.; Prado, B. R.; Silva, G. B. S.; Arai, E. Estudo preliminar do impacto do cultivo da cana-de-açúcar: alterações no albedo e liberação de energia radiativa através das queimadas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2009. p. 325-332. Disponível na biblioteca digital URLib: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.30/doc/325-332.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2012.
- Ponzoni, F. J., Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 135 p.
- Rudorff, B.F.T.; Aguiar, D.A.; Silva, W.F.; Sugawara, L.M.; Adami, M.; Moreira, M.A. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. **Remote Sensing**, v. 2, p.1057-1076, 2010.
- Steffen, A. C.; Moraes, E. C.; Gama, F. F. Radiometria óptica espectral. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., 1996, Salvador. Tutorial São José dos Campos, INPE, 1996. 43p. Disponível na biblioteca digital URLib: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/banon/2003/12.10.19.30.54/doc/mirrorget.cgi?languagebutton=en&metadataarepository=sid.inpe.br/iris@1908/2005/05.25.14.28.12&index=0&serveraddress=marte.dpi.inpe.br+800&choice=full>>. Acesso em: 20 jun. 2012.

Tchuenté, A. T. K.; Roujean, J. L.; Bégué, A.; Los, S. O.; Boone, A. A.; Mahfouf, J. F.; Carrer, D.; Daouda, B. A New Characterization of the Land Surface Heterogeneity over Africa for Use in Land Surface Models. **Journal of Hydrometeorology**, v. 12, n.6, p. 1321-1336, 2011.

Vermote, E. F; Tanre, D.; Deuze, J. L.; Herman, M.; Morcrette, J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, n.3, p. 675-686, 1997.