

## **Análise de metodologias para correção atmosférica e estimativa do albedo da superfície usando imagens Landsat 5, TM**

Ricardo Guimarães Andrade <sup>1</sup>  
Ieda Del'Arco Sanches <sup>1</sup>  
Daniel de Castro Victoria <sup>1</sup>  
André Luiz dos Santos Furtado <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Monitoramento por Satélite - CNPM  
Av. Soldado Passarinho, 303 – Fazenda Chapadão  
13070-115 - Campinas, SP, Brasil  
{ricardo, ieda, daniel, andre}@cnpm.embrapa.br

**Resumo.** Este trabalho objetivou analisar a aplicação de diferentes metodologias para correção atmosférica e estimativa do albedo da superfície com imagens Landsat 5 – TM para a região que abrange parte do megaleque aluvial do rio Taquari (Pantanal). Foram avaliados os métodos de correção atmosférica DOS (*dark object subtraction*), método de correção baseado na componente *haze* da transformação *tasseled cap*, o 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) e o método de correção implementado no algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*). Para o cálculo do albedo, três diferentes fórmulas de estimativas foram utilizadas. Os resultados obtidos apontam a existência de uma forte variação dos valores de albedo encontrados conforme o método de correção dos efeitos atmosféricos e da escolha da fórmula de estimativa do albedo de superfície. Dentre as fórmulas utilizadas para estimativa do albedo, a fórmula de Allen *et al.* foi a que apresentou menos sensibilidade ao tipo de correção atmosférica adotada.

**Palavras-chave:** albedo, correção atmosférica, sensoriamento remoto, processamento de imagens, Pantanal.

**Abstract.** This study has analyzed the application of different methodologies for atmospheric correction and surface albedo estimation using Landsat 5 - TM images from the Pantanal region, Mato Grosso do Sul – Brazil. The methods of atmospheric correction tested were: the dark object subtraction method (DOS), one method based on the haze parameter of the tasseled cap transformation, the 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum) and the correction method implemented in the SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) algorithm. Three different formulas were used for the calculation of the albedo. The results demonstrated a strong variation of albedo values according to the method of atmospheric correction and the albedo formula applied. Among the formulas used to estimate the albedo the formula proposed by Allen *et al.* showed the least sensitivity to the type of atmospheric correction adopted.

**Key-words:** albedo, atmospheric correction, remote sensing, image processing, Pantanal.

## 1. Introdução

As imagens de satélite, no amplo contexto das atuais e crescentes preocupações de sustentabilidade ambiental, vêm se constituindo como meio imprescindível para o planejamento, o uso racional e o monitoramento dos recursos naturais terrestres (Alvarenga *et al.*, 2003). No entanto, as informações obtidas por meio de imagens orbitais têm influência tanto dos fatores da atmosfera quanto da superfície. Na maioria das aplicações o alvo de interesse é a superfície e o sinal da atmosfera pode ser considerado um ruído que atrapalha a obtenção de informações dos alvos (Antunes *et al.*, 2003). Segundo Verstraete *et al.* (1996), os constituintes atmosféricos podem ser fortemente variáveis no tempo e no espaço, na horizontal e na vertical.

Atualmente, existem inúmeros modelos para correção atmosférica, cada um com vantagens e limitações. O DOS (*dark object subtraction*) proposto por Chavez (1988 e 1989) é um dos métodos mais simples para correção do espalhamento atmosférico no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos números digitais (ND) da imagem de satélite, sendo ignorada a absorção atmosférica. Destaca-se também que, não há necessidade de obter dados das condições atmosféricas na data de obtenção das imagens. Uma alternativa é a aplicação da metodologia proposta por Lavreau (1991) para corrigir os efeitos atmosféricos causados por partículas de aerossóis como, por exemplo, bruma, fumaça e nuvens. O método utiliza informações obtidas na própria imagem e baseia-se no fato de que os efeitos atmosféricos nos dados obtidos na faixa espectral do infravermelho são diferentes dos efeitos atmosféricos na faixa espectral do visível. Já o modelo 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) que foi desenvolvido para a simulação do sinal de sensores remotos entre 0,25  $\mu\text{m}$  e 4,00  $\mu\text{m}$  (Vermote *et al.*, 1997) é um dos mais robustos modelos utilizados para correção tanto do espalhamento quanto da absorção da radiação na camada atmosférica, porém, deve-se ater para a escolha dos parâmetros de entrada.

Quando o parâmetro biofísico de interesse é o albedo da superfície, o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) surge como mais uma opção. Nesse caso, a correção atmosférica se baseia em uma formulação que possui como parâmetros o albedo planetário (topo da atmosfera), o albedo da atmosfera e a transmissividade atmosférica (função da altitude) (Allen *et al.*, 2002). Essa metodologia de correção é bastante simples e tem sido aplicada em diversas pesquisas ao redor do mundo, principalmente quando se pretende obter o balanço de energia em extensas áreas.

A correção consistente dos efeitos atmosféricos é fundamental para estimativa do albedo da superfície terrestre. Pesquisas têm demonstrado que o albedo é um parâmetro imprescindível nos estudos de previsão do tempo bem como na compreensão de processos relacionados com mudanças climáticas, desertificação e queimadas, entre outras aplicações

ambientais (Yanagi, 2006; Silva *et al.*, 2005; Culf *et al.*, 1995). O albedo da superfície, definido pela razão entre o fluxo radiativo de onda curta refletido pela superfície e o fluxo radiativo incidente, é de reconhecida importância para o balanço de energia da superfície. O albedo pode ser influenciado por variações ocasionadas por exposição do solo, características intrínsecas ao dossel, água depositada sobre as folhas, presença de matéria orgânica no solo, rugosidade e mineralogia do solo, teor de umidade do solo e das folhas, elevação solar, partição entre radiação direta e difusa, cobertura de nuvens, composição atmosférica, etc (Berbet, 2002).

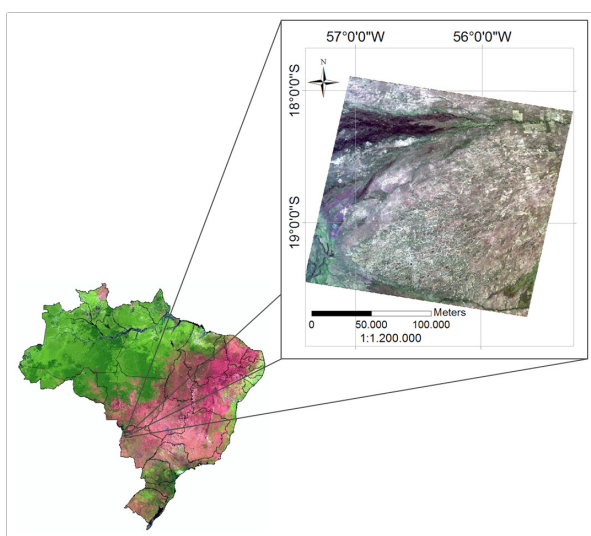
Liang (2000) sugere várias fórmulas para estimativa do albedo da superfície por meio de imagens orbitais, entre elas, está a fórmula linear de estimativa ( $\alpha_{short}$ ) para imagens do Landsat 5 – TM e Landsat 7 – ETM+ que se baseia nas bandas de reflectância 1, 3, 4, 5 e 7. Duguay e LeDrew (1992) desenvolveram uma fórmula linear que utiliza três bandas (2, 4 e 7) do Landsat 5 – TM. Outra opção de estimativa do albedo da superfície por meio de imagens do Landsat 5 – TM e Landsat 7 – ETM+ é a aplicação da fórmula proposta por Allen *et al.* (2002) a qual utiliza a combinação linear da reflectância obtida nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

## 2. Objetivo

Este trabalho teve como objetivo a análise de metodologias para correção atmosférica e estimativa do albedo da superfície utilizando imagens do sensor TM do satélite Landsat 5 para a região que abrange parte do megaleque aluvial do rio Taquari no Pantanal.

## 3. Material e Métodos

A área de estudo compreende a região que abrange parte do megaleque aluvial (Zani *et al.*, 2006) do rio Taquari (**Figura 1**). Imagens dos dias 06/08/2009 e 18/03/2010 foram obtidas do catálogo de imagens (órbita/ponto: 226/073) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), contendo as sete bandas espectrais do sensor TM do satélite Landsat 5.

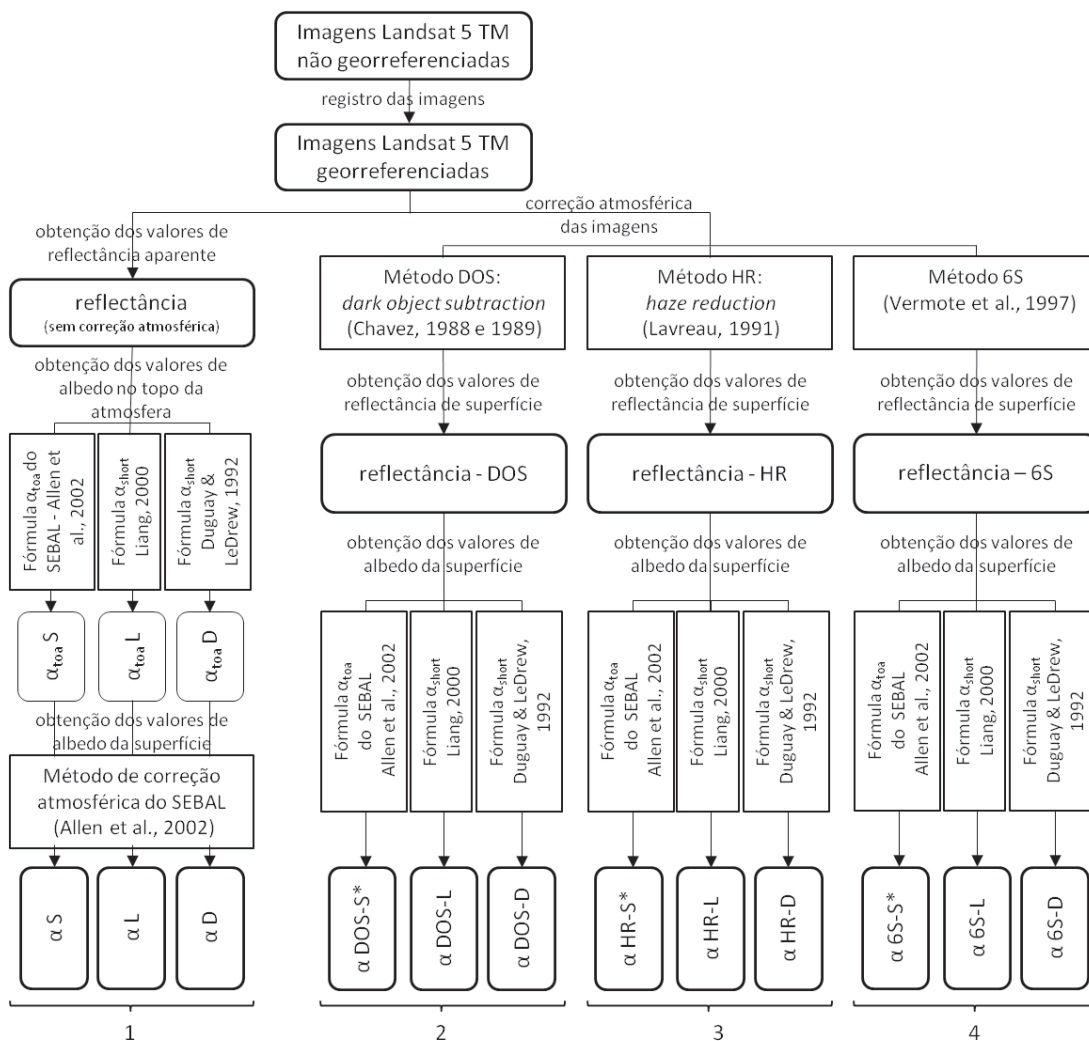


**Figura 1.** Localização da região de estudo que abrange parte do megaleque aluvial do rio Taquari.

As imagens Landsat 5 – TM foram georreferenciadas com base na imagem mosaico

Geocover 2000. Posteriormente, para efetuar a correção atmosférica e estimar o albedo da superfície foram aplicadas as seguintes seqüências metodológicas (**Figura 2**):

1 – Obtenção dos valores de reflectância aparente (topo da atmosfera) seguida da estimativa do albedo no topo da atmosfera utilizando as fórmulas sugeridas por Allen *et al.* (2002), Liang (2000), Duguay e LeDrew (1992). O próximo passo foi aplicar o método de correção atmosférica do algoritmo SEBAL conforme Allen *et al.* (2002). Assim, foram obtidos três resultados de albedo da superfície, ou seja, o albedo da superfície conforme manual do SEBAL ( $\alpha_S$ ), albedo da superfície usando correção atmosférica do SEBAL e fórmula ( $\alpha_{short}$ ) de Liang (2000) ( $\alpha_L$ ) e albedo da superfície usando correção atmosférica do SEBAL e fórmula de Duguay e LeDrew (1992) ( $\alpha_D$ ). Essas etapas foram implementadas na ferramenta *model maker* do software ERDAS IMAGINE 2010.



**Figura 2.** Fluxograma das seqüências metodológicas utilizadas para correção atmosférica e obtenção do albedo da superfície.

2 – Aplicação do método de correção atmosférica DOS (*Dark Object Subtraction*) de Chavez (1988 e 1989). Para tanto, foi utilizada a planilha eletrônica de Gurtler *et al.* (2005), em que os dados referentes às radiâncias mínima (Lmin) e máxima (Lmax) e à irradiância (E) do sensor TM foram atualizados de acordo com Chander *et al.* (2009). Para o cálculo do espalhamento atmosférico a banda TM1 foi utilizada como banda referência. Além do histograma da banda TM1, os dados de entrada na planilha foram

o tipo de sensor, a data da imagem e o ângulo de elevação solar. Depois de calculados os dados na planilha eletrônica a ferramenta *model maker* do software ERDAS 2010 foi utilizada para obtenção dos valores de reflectância de superfície. Em sequência, para estimativa do albedo da superfície foram utilizadas as fórmulas sugeridas por Allen *et al.* (2002), Liang (2000), Duguay e LeDrew (1992), gerando respectivamente os albedos da superfície denominados de  $\alpha_{DOS-S^*}$ ,  $\alpha_{DOS-L}$  e  $\alpha_{DOS-D}$ .

3 – Aplicação do algoritmo de correção atmosférica desenvolvido por Lavreau (1991) e que corrige os efeitos causados por partículas de aerossóis (denominados pelo autor de *haze*). Nesse algoritmo, o *haze* é quantificado usando-se o quarto parâmetro da transformação *tasseled cap* (TC4), o qual foi definido por Crist *et al.* (1986). Na transformação *tasseled cap* a maior parte da informação relacionada com os pixels da cena é explicada pelos três primeiros parâmetros (TC1 = *brightness*, TC2 = *greenness* e TC3 = *wetness*) sendo o quarto parâmetro (TC4 = *haze*) associado aos efeitos atmosféricos. O TC4 é computado a partir da combinação das seis bandas espectrais reflectivas do sensor TM do Landsat. Esse parâmetro não depende da cena, sendo dependente apenas do sensor, ou seja, uma vez definido para um sensor específico (como exemplo o Landsat 5 – TM) o mesmo parâmetro funciona para qualquer cena obtida por esse sensor. A fórmula para o Landsat 5 – TM é:  $TC4 = 0,8461*TM1 - 0,7031*TM2 - 0,4640*TM3 - 0,0032*TM4 - 0,0429*TM5 - 0,0119*TM7 + 0,7879$  (Crist *et al.*, 1986). Após ser computada, a componente *haze* (TC4) é removida e uma transformação *tasseled cap* inversa é aplicada, gerando a imagem corrigida. Este algoritmo está implementado no software ERDAS IMAGINE 2010, na ferramenta denominada *Haze Reduction* (HR). Após a correção atmosférica, o próximo passo foi utilizar a ferramenta *model maker* do referido software para obtenção dos valores de reflectância de superfície seguida da estimativa do albedo da superfície com as fórmulas sugeridas por Allen *et al.* (2002), Liang (2000), Duguay e LeDrew (1992), gerando respectivamente os albedos da superfície denominados de  $\alpha_{HR-S^*}$ ,  $\alpha_{HR-L}$  e  $\alpha_{HR-D}$ .

4 – Aplicação da correção atmosférica por meio do modelo 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) desenvolvido por Vermote *et al.* (1997). Esse modelo está fundamentado na teoria da transferência radiativa (Chandrasekhar, 1960) e para sua aplicação é preciso ter informações sobre parâmetros da atmosfera local no horário de aquisição das imagens de satélite, o que permite um melhor embasamento físico na correção atmosférica. Os parâmetros de entrada utilizados no modelo 6S para imagem de 2009 foram: data (06/agosto), hora GMT (13.593h), longitude (-56.333839°), latitude (-18.807323°), modelo de atmosfera (tropical), modelo de aerossóis (continental), altitude do terreno (115 m) e visibilidade (20 km, conforme Antunes *et al.*, 2003). Para a imagem de 2010, foi mantida parte dos parâmetros utilizados na imagem de 2009, alterando apenas a data (18/março), a hora (13.6227h), a longitude (-56.332283°) e a latitude (-18.792587°). Efetuada a correção atmosférica, foi possível obter os valores de reflectância de superfície e realizar a estimativa do albedo da superfície com as fórmulas sugeridas por Allen *et al.* (2002), Liang (2000), Duguay e LeDrew (1992) gerando respectivamente os albedos da superfície denominados de  $\alpha_{6S-S^*}$ ,  $\alpha_{6S-L}$  e  $\alpha_{6S-D}$ .

Para avaliação do albedo de acordo com as classes de uso e cobertura da terra, foi utilizada a classificação do PROBIO (EMBRAPA, 2004). No entanto, devido ao elevado número de classes na legenda do PROBIO, estas foram simplificadas para as classes de agricultura (Ac), água (Ag), pecuária (pastagem plantada) (Ap), floresta estacional decidual (C), floresta estacional semi-decidual (F), formações pioneiras (P), savana

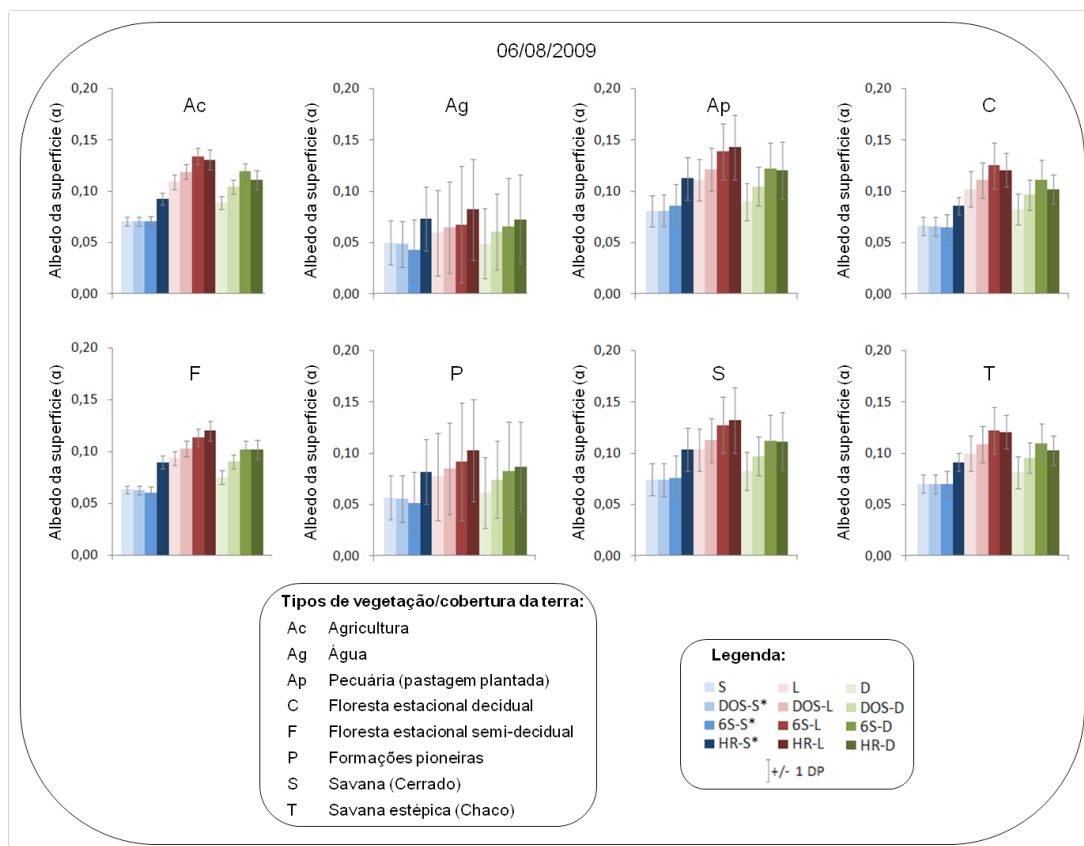
(cerrado) (S) e savana estépica (chaco) (T).

#### 4. Resultados e Discussão

As **Figuras 3 e 4** apresentam os dados médios e desvio padrão das estimativas do albedo da superfície realizada para as imagens Landsat 5 – TM dos dias 06/08/2009 e 18/03/2010, por meio da aplicação de diferentes metodologias de correção dos efeitos atmosféricos e da estimativa do albedo de superfície para diferentes classes de uso e cobertura da terra da região que abrange o megaleque aluvial do rio Taquari.

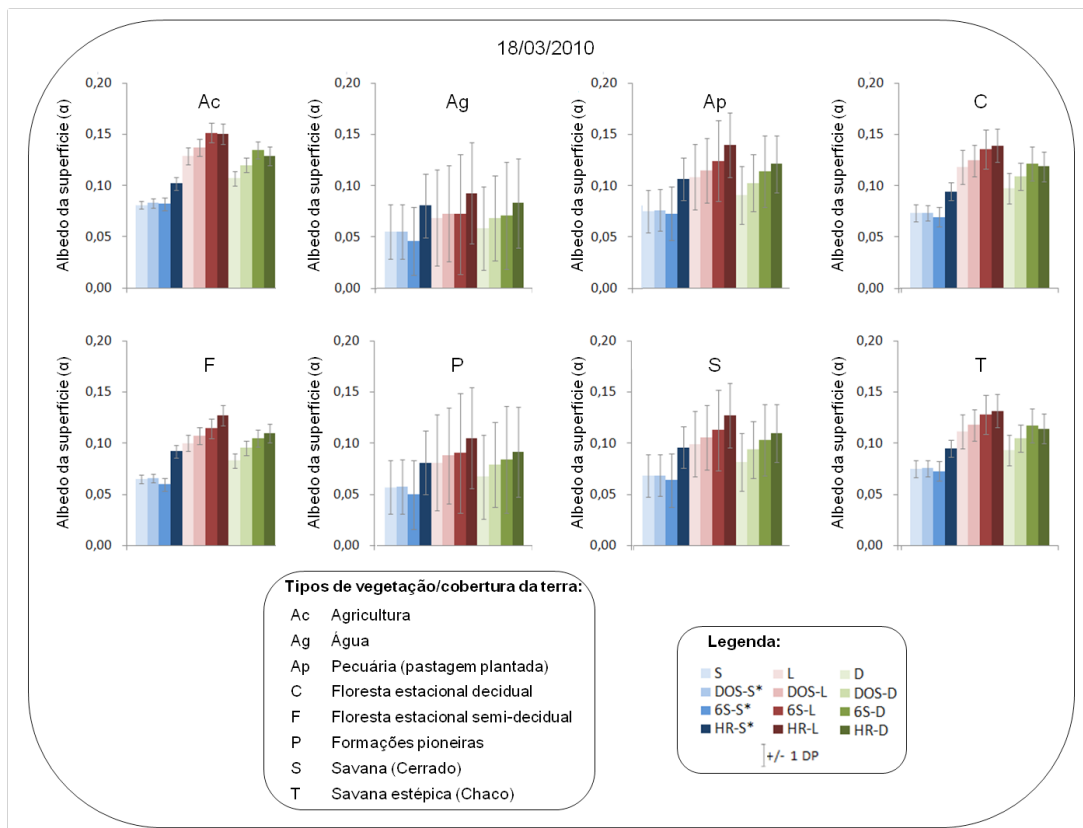
Nas **Figuras 3 e 4** observa-se que o albedo da superfície variou conforme a classe de uso e cobertura da terra. E em cada classe ocorreram acentuadas variações no resultado do albedo de acordo com a escolha da correção atmosférica e da fórmula de estimativa do albedo da superfície. Nas duas datas analisadas, as classes água (Ag) e formações pioneiras (P) apresentaram os menores valores médios de albedo. Os maiores valores foram observados para as classes agricultura (Ac) e pastagem (Ap), sendo que as classes florestas (C, F) e savanas (S, T) apresentaram valores intermediários. Entre todas as classes analisadas, as classes água (Ag) e formações pioneiras (P) foram as que apresentaram os maiores valores de desvio padrão, devido à heterogeneidade existente nessas classes.

Comparando os três métodos utilizados para o cálculo de albedo da superfície, observou-se que os resultados de albedo obtidos por meio da fórmula de Liang (2000) (colunas em tons de vermelho nas **Figuras 3 e 4**) apresentaram valores superiores àqueles estimados segundo a fórmula de Duguay e LeDrew (1992) (colunas em tons de verde), os quais por sua vez foram superiores aos valores calculados de acordo com a fórmula proposta por Allen *et al.* (2002) (colunas em tons de azul).



**Figura 3.** Dados médios de Albedo da superfície do dia 06 de agosto de 2009 juntamente com o desvio padrão (DP) para cada classe de uso e cobertura da terra na região que abrange parte do megaleque aluvial do rio Taquari.

O efeito da correção atmosférica na estimativa do albedo da superfície variou com o método de correção atmosférica e a fórmula utilizada para o cálculo do albedo. Ao analisar os valores de albedo obtidos pela fórmula de Allen *et al.* (2002) (S, DOS-S\*, 6S-S\*, HR-S\*), observa-se que os valores estimados a partir das correções atmosféricas realizadas pelos métodos SEBAL, DOS e 6S (S, DOS-S\*, 6S-S\*) foram semelhantes entre si, divergindo apenas dos valores de albedo com aplicação da correção atmosférica HR (HR-S\*). No entanto, quando o albedo foi calculado utilizando a fórmula de Liang (2000) para cada correção atmosférica foi gerado um valor diferente de albedo, o mesmo resultado foi observado para a aplicação da fórmula de Duguay e LeDrew (1992). Uma diferença entre o cálculo do albedo pela fórmula de Allen *et al.* (2002) e as duas outras fórmulas é que Allen *et al.* (2002) propõem a utilização da reflectância de todas as bandas TM, enquanto que um número menor de bandas é utilizado nas demais fórmulas. Como os métodos aqui utilizados neste trabalho corrigem diferentes efeitos atmosféricos (ex. método DOS corrige o espalhamento atmosférico enquanto o 6S corrige tanto o espalhamento como a absorção atmosférica) ao se aplicar fórmulas para cálculo do albedo que priorizam determinadas bandas espectrais, as divergências entre as correções analisadas parecem ser ressaltadas.



**Figura 4.** Dados médios de Albedo da superfície do dia 18 de março de 2010 juntamente com o desvio padrão (DP) para cada classe de uso e cobertura da terra na região que abrange parte do megaleque aluvial do rio Taquari.

## 5. Conclusões

Embora no presente trabalho não exista confrontação das estimativas do albedo da superfície com a verdade de campo para cada tipo de uso e cobertura da terra, nota-se que entre as três fórmulas de cálculo do albedo, a de Allen *et al.* (2002) foi a menos sensível ao tipo de correção atmosférica adotado. Além disso, vale ressaltar que dependendo da fórmula escolhida para o cálculo do albedo serão encontrados valores totalmente distintos. Para o objetivo do presente trabalho, que foi comparar diferentes metodologias de correção atmosférica e estimativa do albedo da superfície, o uso das classes agrupadas foi satisfatório, no entanto, para elucidar qual método gera resultado mais próximo da verdade é de fundamental importância que sejam realizadas medições no campo.

## 6. Agradecimentos

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio financeiro (bolsa de pós-doutorado).

## 7. Referências

- Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) - **Advanced Training and Users Manual - Idaho Implementation**, version 1.0, 2002, 98p.
- Alvarenga, B. S.; Arco, E.; Adami, M.; Formaggio, A. R. O ensino de conceitos e práticas de espectrorradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do Estado de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 739-747. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/rep/ltid.inpe.br/sbsr/2003/03.28.12.35?langua=button=pt-BR>>. Acesso em: 02 ago. 2010.
- Antunes, M. A. H.; Freire, R. M. B.; Botelho, A. S.; Toniolli, L. H. Correções atmosféricas de imagens de satélites utilizando o modelo 6S. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: CBC, 2003. 6p. Disponível em: <[www.cartografia.org.br/xxi\\_cbc/174-SR21.pdf](http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/174-SR21.pdf)>. Acesso em: 02 ago. 2010.
- Berbet, M. L. C. **Variação sazonal do albedo e sua influência na mudança do padrão de chuva, em consequência da conversão da floresta tropical em pastagem**. 2002. 33p. UFV. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.
- Chander, G.; Markham, B. L.; Helder, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 893-903, 2009.
- Chandrasekhar, S. **Radiative transfer**. Dover Publications Inc., New York, 1960. 393p.
- Chavez Jr., P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.
- Chavez Jr., P. S. Radiometric calibration of Landsat thematic mapper multispectral images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 55, p. 1285-1294, 1989.
- Crist, E. P.; Laurin, R.; Cicone, R. C. Vegetation and soils information contained in transformed thematic mapper data. In: Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 86., 1986, Zurich. **Proceedings...** Paris: European Space Agency SP-254, 1986, p. 1465-1470.
- Culf, A. D.; Fisch, G.; Hodnett, M. G. The albedo of amazonian forest and ranch land. **Journal of Climate**, v. 8, n. 6, p. 1544-1554, 1995.
- Duguay, C. R.; LeDrew, E. F. Estimating surface reflectance and albedo from Landsat-5 Thematic Mapper over rugged terrain. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 58, p. 551- 558, 1992.
- EMBRAPA. **Levantamento e mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Pantanal, período de 2002 na escala de 1:250.000**. Embrapa Informática Agropecuária: Campinas, SP,



agosto de 2004, 43p.

Gurtler, S.; Epiphanyo, J. C. N.; Luiz, A. J. B.; Formaggio, A. R. Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 2, p. 162-167, 2005.

Lavreau, J. De-hazing Landsat thematic mapper images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 57, p. 1297-1302, 1991.

Liang, S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, p. 213-238, 2000.

Silva, B. B.; Lopes, G. M.; Azevedo, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005.

Vermote, E.F.; Tanré, D.; Deuzé, 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.

Verstraete, M. M.; Pinty, B.; Myneni, R. B. Potential and limitations of information extraction on the terrestrial biosphere from satellite remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 201-214, 1996.

Yanagi, S. N. M. **Albedo de uma floresta tropical amazônica: Medições de campo, sensoriamento remoto, modelagem, e sua influencia no clima regional**. 2006. 128p. UFV. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2006.

Zani, H.; Assine, M. L.; Araújo, B. C.; Merino, E. R.; Silva, A.; Fancicani, E. M. Lobos deposicionais na evolução do megaleque do rio Taquari, Pantanal Mato-grossense. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 1., 2006, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2006. p. 285-292.